This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

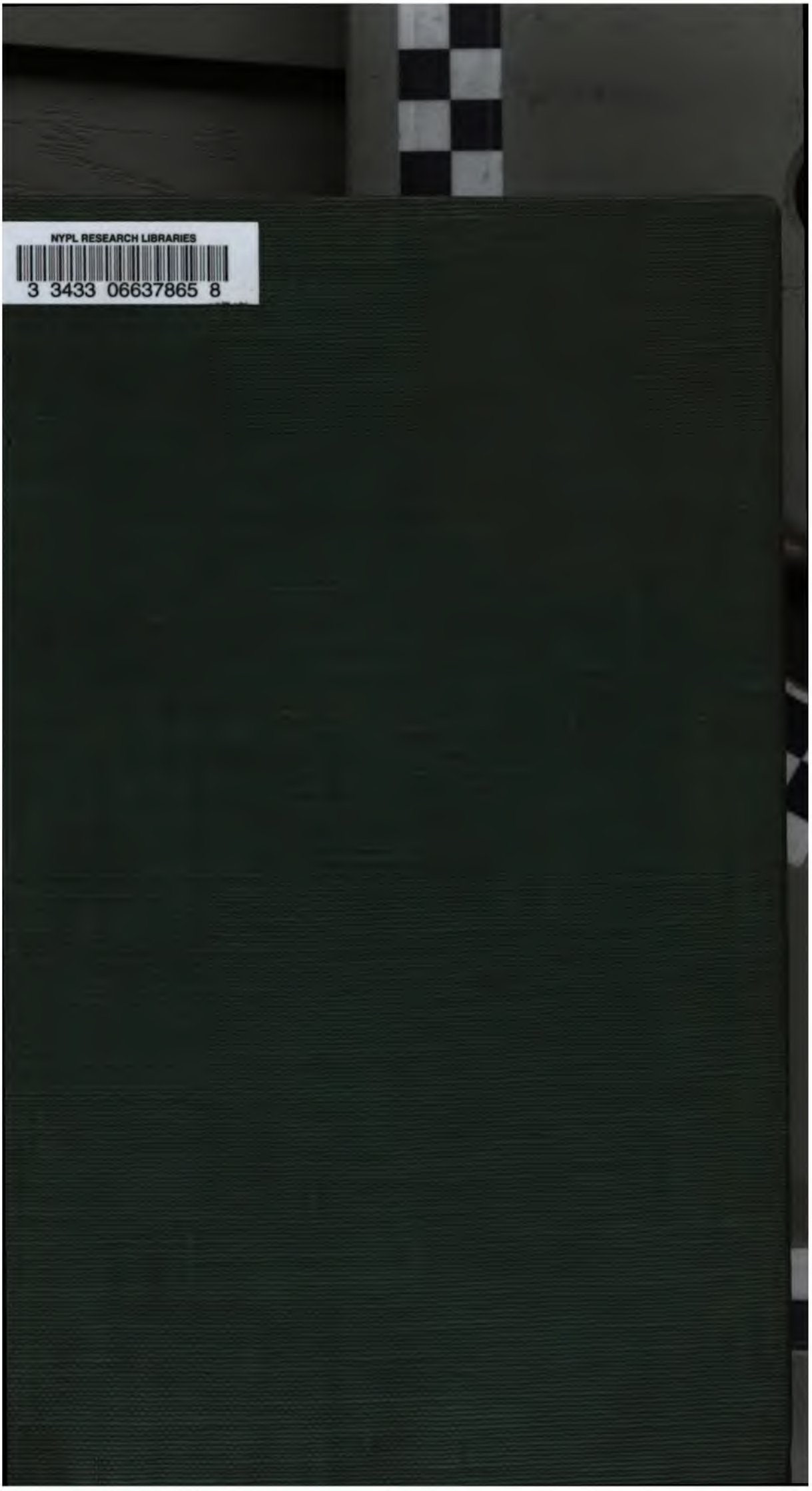
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06637865 8

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

NAVIGATION INTÉRIEURE

RIVIÈRES ET CANAUX

Au commencement de chaque volume, une table donne la division des matières qu'il renferme en **Parties, Chapitres et Paragraphes.**

Un sommaire détaillé est en outre placé en tête de chaque chapitre.

ANGERS, IMPRIMERIE BURDIN ET Cie, RUE GARNIER, 4.

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par Mᵉ-Cᵗ LECHALAS, inspʳ génᵃˡ des Ponts et Chaussées

NAVIGATION INTÉRIEURE

RIVIÈRES ET CANAUX

PAR

Guillaume Antoine Paul GUILLEMAIN

INSPECTEUR GÉNÉRAL
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

TOME SECOND

MOYENS DE FRANCHIR LES BARRAGES
CANAUX LATÉRAUX ET CANAUX A POINT DE PARTAGE
ENTRETIEN ET EXPLOITATION DES CANAUX
ANNEXES : A. PROJETS DE GRANDS CANAUX DE NAVIGATION
B. ÉLÉVATEURS HYDRAULIQUES
C. RENSEIGNEMENTS DIVERS SUR LES CANAUX

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
BAUDRY ET Cᵉ, LIBRAIRES-ÉDITEURS
RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MÊME MAISON A LIÈGE

1885

TOUS DROITS RÉSERVÉS

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

CINQUIÈME PARTIE

DES MOYENS DE FRANCHIR LES BARRAGES.

CHAPITRE XIX. **Navigation par éclusées et flottage.**

§ 1. Navigation par éclusées... 3
§ 2. Flottage..... 6

CHAPITRE XX. **Écluses à sas.**

§ 1. Disposition générale des écluses..... 12
§ 2. Parties constitutives des écluses à sas..... 17
§ 3. Ouvrages accessoires destinés aux manœuvres hydrauliques..... 27
§ 4. Portes d'écluse..... 32
§ 5. Variétés d'écluses à sas... 97
§ 6. Ponts sur écluses..... 105
§ 7. Abords des écluses..... 111

Figures dans le texte :

Mur de chute..... 19
Coupe d'une écluse du canal de l'Est..... 23
Appareil de buse..... 25
Aqueduc débouchant dans le mur de chute..... 28
Écluses du canal de l'Ourcq... 33
Portes du canal de Saint-Quentin. 35
Portes du canal de Roanne à Digoin..... 37
Portes en bois de la Marne canalisée..... 42
Pivot et crapaudine..... 58
Collier des portes en fer de la Marne..... 59
Détermination des dimensions des pièces..... 84 et 87

Pages.

Écluses primitives du canal du Midi..... 97
Écluse ronde d'Agde..... 98
Écluse de Marly-Bougival..... 99
Écluse à têtes séparées..... 101

Petites planches :

Écluse du canal de la Marne à la Saône..... 13
Portes à rabattement du canal Érié..... 30
Portes du canal de l'Est..... 39
Portes en fer de la Marne..... 44
Portes de la Meuse belge..... 48
Portes de la haute Seine..... 50
Portes de la Saône..... 52
Collier des portes de l'écluse d'Ablon..... 61
Expériences sur les déformations des vantaux..... 78 et 80
Portes de l'écluse d'Ablon et portes du canal de l'Aisne à la Marne..... 94
Dérivation et écluses de Carrières-sous-Poissy..... 102
Pont sur écluse du canal de l'Est. 104
Pont sur écluse du canal Saint-Maurice..... 106
Écluse du canal de l'Est..... 110
Aqueduc sous l'écluse de Gravelle..... 112

CHAPITRE XXI. **Fondations des écluses à sas et autres ouvrages hydrauliques.**

§ 1. Fondation par les procédés ordinaires..... 117
§ 2. Usage de l'air comprimé pour les fondations..... 129

Pages.

CHAPITRE XXII. **Dérivations éclusées.**

§ 1. Positions respectives des parties dont se compose une retenue d'eau..... 138
§ 2. Dispositions générales d'une dérivation..... 143
§ 3. Ponts sur les dérivations.. 148
§ 4. Résumé sur les dérivations. 138

Figure dans le texte :

Écluse de garde..... 147

Petites planches :

Dérivation de Pépin..... 142
Pont mobile; type économique. 156

SIXIÈME PARTIE

DES CANAUX

CHAPITRE XXIII. **Des canaux latéraux.**

§ 1. Nécessité de recourir à des voies de navigation artificielles..... 164
§ 2. Dispositions générales; section, tracé, profil en long.... 167
§ 3. Traversée des affluents; aqueducs, ponts-canaux, traversée des rivières à niveau.. 175
§ 4. Consommation d'eau des canaux; déperditions apparentes; déperditions non apparentes; déperditions douteuses..... 202
§ 5. Alimentation des canaux latéraux; prise d'eau principale à l'origine d'un canal latéral, prises d'eau secondaires étagées le long de la ligne navigable..... 214
§ 6. Expulsion des eaux des canaux..... 224

Figures dans le texte :

Section transversale des aqueducs..... 179
Déversoir de superficie..... 224

Petites planches :

Profil transversal type d'un canal..... 166

Pages.

Aqueduc avec puisard..... 176
Buses en fonte ou en tôle..... 180
Pont-canal de Bar-le-Duc..... 184
Prolongement des têtes d'un pont-canal dans le terre-plein. 188
Pont-canal en fonte..... 190
Pont-canal en tôle..... 192 et 193
Traversée de la Loire à Châtillon. 196
Déversoir de fond et de superficie..... 226

CHAPITRE XXIV. **Des canaux à point de partage.**

§ 1. Notions générales..... 230
§ 2. Alimentation..... 235
§ 3. Moyens de diminuer la consommation d'eau des écluses. 243
§ 4. Plans inclinés et élévateurs; avantages et inconvénients des divers systèmes..... 248

Figures dans le texte :

Flotteur de M. de Bêthancourt. 245
Plan incliné de Blackhill..... 255

Petites planches :

Plan incliné de Blackhill..... 252
Plan incliné de Georgetown.... 254
Élévateur d'Anderton..... 258

CHAPITRE XXV. **Construction des canaux à point de partage.**

§ 1. Tracé aux environs du bief de partage..... 273
§ 2. Terrassements : ordinaires, dans les grandes tranchées et les grands remblais..... 276
§ 3. Travaux d'étanchement.... 282
§ 4. Réservoirs. Notions générales..... 295
§ 5. Barrages en terre..... 297
§ 6. Barrages en terre et maçonnerie..... 327
§ 7. Barrages en maçonnerie... 330
§ 8. Décantation des réservoirs naturels..... 372
§ 9. Souterrains..... 373

Figures dans le texte :

Coupe transversale de la digue de Montaubry..... 303

Pages.

Coupe transversale de la digue de Cercey..... 305
Les murs des Settons, d'Almanza, de Bosméléac, de Lampy, de Glomel et du Vioreau, six figures..... 332 et 333
Le mur d'Elche..... 333
Actions d'un mur sur une fondation, trois figures..... 339 et 340
Calcul de l'effort sur l'arête comprimée..... 342
Effort de rupture vers l'arête soulevée..... 343
Fondation non homogène..... 355
Epaisseur du mur à des hauteurs diverses..... 363

Petites planches :

Revêtements applicables aux terrains très perméables et exposés à des sous-pressions..... 288
Terrain très perméable, mais non exposé à des sous-pressions.. 290
Prise d'eau de Montaubry..... 308
Déversoir du Tillot..... 312
Réservoir de Mittersheim..... 316
Digues en terre (Angleterre).... 320
Digues hindoues..... 324
Digue de Saint-Ferréol..... 328
Murs de hauteur moyenne. 334 et 335
Murs de grandes hauteurs. 337 et 338
Profils théoriques..... 364

CHAPITRE XXVI. **De l'entretien et de l'exploitation des canaux.**

§ 1. Entretien des canaux ; curages, faucardages, plantations, chômages..... 378
§ 2. Exploitation des canaux ; matériel flottant, dispositions pour l'embarquement et le débarquement des marchandises, mesures d'ordre et de police.. 400
§ 3. Comparaison entre les chemins de fer et les canaux..... 413

Petites planches :

Perrés à pierres sèches en moellon de Tournai..... 380

Pages.

Perrés en moellons bruts de Cherbourg..... 382
Bateau brise-glace..... 398

ANNEXES.

Projets de grands canaux de navigation.

I. Canal du Nord sur Paris, par M. Flamant..... 423
II. Canal reliant la région houillère et industrielle de Saint-Étienne avec le canal latéral à la Loire et avec le Rhône..... 493
III. Canaux entre Bordeaux, La Rochelle, Rochefort et la Loire. 510

Élévateurs hydrauliques :

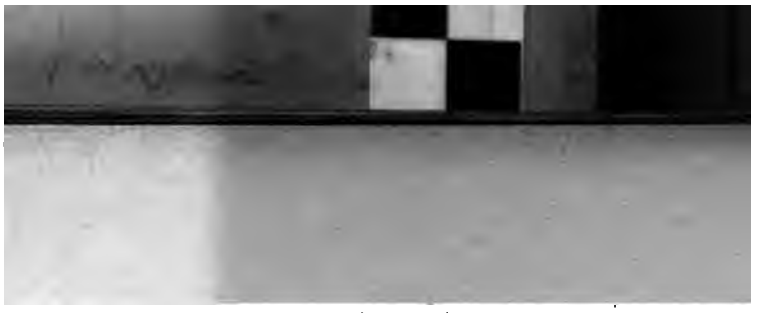
I. Rapport de M. Clarke sur l'accident d'Anderton..... 517
II. Note de M. Gustave Cadart.. 527
III. L'ascenseur des Fontinettes, par M. Gruson..... 541

Renseignements divers sur les canaux :

I. Le canal de la Deûle et la salubrité de la ville de Lille.... 566
II. Le trafic et les prix du fret sur les voies navigables du Nord..... 571
III. La marche des bateaux..... 578

Figures des Annexes :

Carte des canaux et rivières canalisés du Nord et du Pas-de-Calais, avec indication de l'importance comparative des exploitations houillères..... 426
Type d'écluse pour le canal projeté du Nord sur Paris : série de petites planches. 468, 470, 472, 476
Note sur l'accident d'Anderton, deux figures..... 532 et 536
L'ascenseur des Fontinettes, neuf petites planches, pages 540, 542, 544, 546, 547, 549, 551, 557 et 558.



ERRATA

Page 57, ligne 21, lisez ***diamètre***, au lieu de rayon;
— 58, ligne 11, lisez ***qui peut n'être que de*** 0,01;
— 86, ligne 4, lisez ***entretoises***, au lieu de entretoise;
— 86, ligne 10 de la note, lisez H' au lieu de H°;
— 124, ajouter entre les lignes 27 et 28 : ***au moins une faible pression même temps qu'ils rendent;***
— 138, ligne 14, lisez ***mais ils en diffèrent***, au lieu de il est différent;
— 145, ligne 31, lisez ***à celle***, au lieu de et celle;
— 191, ligne 19, lisez ***contenir***, au lieu de supporter;
— 197, ligne 21, lisez ***hauteur***, au lieu de largeur;
— 207, ligne 21, lisez ***a estimé***, au lieu de estime;
— 209, ligne 9, lisez ***100 kilomètres***, au lieu de 1.000;
— 240, ligne 12, lisez ***pesant***, au lieu de posant;
— 246, ligne 11, lisez ***2,50*** au lieu de 2,57;
— 256, ligne 22, lisez *par*, au lieu de pour;
— 261, ligne 29, ajoutez *leurs avantages et*;
— 301, ligne 18, lisez ***0,80***, au lieu de 9,80;
— 339, dernière ligne, lisez $2\,q - p$, au lieu de $2\,p - q$;
— 347, ligne 25, lisez *au minimum*, au lieu de au maximum;
— 348, ligne 25, lisez ***776***, au lieu de 676;
— 351, ligne 34, lisez *modifier la section et vérifier*, au lieu de modifier
— 372, ajoutez au haut de la page : § VIII;
— 373, ajoutez avant SOUTERRAINS : § IX.
— 386, ligne 20, lisez ***Masquelez***, au lieu de Marquelez;

CINQUIÈME PARTIE

DES

MOYENS DE FRANCHIR LES BARRAGES

CHAPITRE DIX-NEUVIÈME : *NAVIGATION PAR ECLUSÉES ET FLOTTAGE*

CHAPITRE VINGTIÈME : *ÉCLUSES A SAS*

CHAPITRE VINGT-UNIÈME : *FONDATIONS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES*

CHAPITRE VINGT-DEUXIÈME : *DÉRIVATIONS ECLUSÉES*

CHAPITRE XIX

NAVIGATION PAR ÉCLUSÉES ET FLOTTAGE

SOMMAIRE :

§ 1er. *Navigation par éclusées.* — 463. Navigation par éclusées. — 464. Ses inconvénients. — 465. Transition à la navigation continue.
§ 2. *Flottage.* — 466. Flottage à bûches perdues. — 467. Flottage en trains. — 468. Composition d'un train de bois à brûler. — 469. Prix du flottage. — 470. Trains de pièces de charpente. — 471. Nécessité de maintenir les pertuis, même sans flottage.

§ Ier

NAVIGATION PAR ÉCLUSÉES.

463. Navigation par éclusées. — Lorsque les eaux d'une rivière sont relevées par un barrage, leur pente naturelle se trouve remplacée par une chûte brusque qui intercepte la communication entre le bief d'amont et le bief d'aval. Nous avons déjà dit que le passage de l'un à l'autre s'effectuait généralement au moyen d'une écluse à sas, et parfois aussi par l'ouverture des pertuis ou passes profondes, au travers desquels le libre écoulement se trouvait rétabli. Ce second procédé a été longtemps le seul employé sur les rivières, et, bien qu'il tende à disparaître, nous devons nous y arrêter un instant, parce qu'il est encore pratiqué sur quelques points et a, d'ailleurs, certains avantages économiques qu'il est bon de connaître. Il a donné lieu, en outre, à ce qu'on appelle la navigation par éclusées.

Quand, dans un des barrages mobiles que nous avons décrits, on vient à ouvrir un peu brusquement une passe, les

eaux du bief d'amont se jettent dans le bief d'aval et y donnent naissance à un flot qui augmente le débit et surélève le niveau pendant un certain temps. En entrant plus avant dans l'étude du phénomène, on reconnaît que l'onde née de cette chute d'eau glisse sur la pente du lit en s'aplatissant à mesure qu'elle s'éloigne du barrage, mais en conservant toujours une inclinaison assez accentuée vers l'aval ; presque horizontale au contraire vers l'amont. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1841, 1er semestre. Notice de M. Chanoine.) La vitesse de propagation de cette onde n'est pas très considérable, elle atteignait 1 mètre par seconde sur l'Yonne.

Si les bateaux ou les trains qui se trouvent sur le passage de cette crue artificielle peuvent se laisser entraîner par elle ; si les barrages sont assez rapprochés pour que la crue puisse se reformer dès qu'elle cesse d'être effective, il est évident que la navigation aura pu profiter, pendant un certain temps, de conditions supérieures aux conditions normales, et aura traversé une succession de passages qui l'auraient arrêtée sans ces « lâchures, » car c'est le nom donné à chacune de ces émissions d'eau.

Telles étaient les conditions dans lesquelles s'effectuait, il y a peu de temps encore, la navigation de beaucoup de rivières, en tête desquelles il faut placer la haute Seine et l'Yonne.

Ce régime était non seulement justifié, mais encore logique lorsque la navigation se composait, en majeure partie, de bois destinés à l'approvisionnement de Paris. Ces grands radeaux, qui n'avaient qu'un faible tirant d'eau, qui redoutaient peu les avaries, qui n'avaient jamais à remonter le courant, se trouvaient bien d'un système qui leur permettait de franchir les maigres, tout en leur fournissant un moteur économique.

Quand le canal de Bourgogne et celui du Nivernais ont jeté leurs bateaux dans la rivière d'Yonne, quand la circulation des marchandises autres que les bois y a ajouté les siens, on s'est trouvé en face d'inconvénients graves.

464. Inconvénients de la navigation par éclusées. — C'était d'abord le danger du passage du pertuis ; il est évident en effet qu'un bateau, entraîné par le courant violent

de la passe, est soumis de l'amont à l'aval à des inégalités d'immersion qui tendent à le disloquer ; de plus, il peut se briser contre les bords ou le fond, s'il est mal manœuvré ; et ce sont là des périls d'autant plus difficiles à accepter que le matériel qui navigue sur les canaux, en raison même de la sécurité qu'il y rencontre, n'est pas construit pour affronter de semblables chances. Cette première considération a conduit à accoler des écluses aux barrages, de façon que les bateaux puissent s'affranchir du passage par le pertuis, sans cesser, pendant le reste du parcours, de profiter des éclusées (loi du 3 mai 1846).

La situation s'était donc améliorée ; elle était toutefois encore loin d'être bonne. Chaque lâchure de pertuis donnait bien une onde dont usaient, pendant un certain temps, les bateaux descendants; mais les bateaux montants n'en pouvaient profiter que pendant un temps beaucoup plus court, puisqu'ils marchaient en sens contraire du flot. Ils avaient, en outre, à lutter contre un courant violent suivi d'affameurs qui les immobilisaient complètement. Chaque retenue, en effet, pour se reformer arrêtait les eaux de la rivière qui, ainsi appauvrie, s'abaissait et n'offrait plus le mouillage nécessaire à la marche. Ces intermittences étaient telles que l'administration avait dû les régulariser, en fixant les jours et les heures où les éclusées auraient lieu ; elle composait ces éclusées avec les flots que transmettaient les affluents, et les faisait coïncider pour en tirer meilleur effet à un moment donné, moment dont les intéressés étaient d'ailleurs avertis.

C'est ainsi que de 1865 à 1870, sur l'Yonne, le nombre moyen des éclusées a été de quatre-vingt-cinq par an, et la hauteur d'eau moyenne, obtenue sur les maigres, de $1^{m},08$. Ce résultat avait été acquis, tant par la direction d'ensemble donnée au jeu des barrages que par la création du réservoir des Settons, en 1858, sur la Haute-Cure, réservoir qui contient vingt quatre millions de mètres cubes, et a permis, pendant l'été, un nombre d'éclusées plus considérable qu'autrefois.

465. Transition à la navigation continue. — C'était un second progrès, et il n'y avait plus qu'un pas à faire pour arri-

ver à la navigation continue; c'était de rapprocher assez les barrages pour que chacun d'eux assurât, sur le seuil de celui qui le précède et sur les maigres qui l'en séparent, un mouillage suffisant. Ce pas fut franchi pour la haute Seine et l'Yonne de 1860 à 1873, et aujourd'hui la navigation par éclusées est complètement supprimée de Paris à Auxerre et à Nogent-sur-Seine. Elle existe encore sur la haute Yonne, le Beuvron, la Cure, l'Armançon et la Vanne pour le service du flottage, dont nous allons maintenant dire quelques mots.

§ II

DU FLOTTAGE

Le flottage s'opère de deux manières, à bûches perdues ou en trains.

466. Flottage à bûches perdues. — Le flottage existait de toute antiquité, et a été réglé par des ordonnances dont on retrouve la trace dès 1415. Les marchands de bois de Paris qui s'approvisionnaient dans le Nivernais, la Bourgogne et la Champagne obtinrent le privilège de confier aux petits cours d'eau les bois de chauffage récoltés dans leurs exploitations; ils durent donner à toutes les bûches une longueur fixe (3 pieds et demi), les frapper de la marque de leur marchand, moyennant quoi ils purent les suivre dans leur trajet à travers les propriétés particulières, les déposer sur les bords moyennant une indemnité fixe, et faire lever les vannes des pertuis des moulins pour assurer leur passage. L'ordonnance de décembre 1672, qui stipule tous ces droits, n'a fait que codifier les règlements préexistants qui assuraient le flottage sur la Seine ainsi que sur les rivières navigables et flottables et les ruisseaux qui y affluent.

Cette première partie de l'opération est le flottage à bûches perdues; elle se réalise sur les ruisseaux de la partie supé-

rieure de la vallée au moyen d'éclusées que les marchands de bois sont autorisés à se procurer en se servant, moyennant indemnité, de l'eau des étangs placés sur leur route. Quarante jours leur sont accordés pour relever les bois coulés à fond après chaque flot; les usines sont tenues de maintenir en bon état les pertuis qui servent à franchir la retenue, et la Compagnie des marchands de bois fait dans le lit de la rivière ou du ruisseau les travaux qui sont de nature à assurer le libre passage des flots.

467. Flottage en trains. — Les bûches emportées ainsi isolément au cours de l'eau arrivent au point où la rivière devient flottable en trains; elles trouvent là un barrage de chevalets, sorte d'estacade en charpente qui les arrête ; des ouvriers spéciaux, nommés flotteurs, les prennent une à une, les séparent par marque de marchand, et en composent les trains que l'on voit chaque jour arriver à Paris.

468. Composition d'un train de bois à brûler. — Ces trains sont une œuvre beaucoup plus compliquée qu'on ne pourrait le croire à première vue. Voici la description que donne des trains de l'Yonne M. Pierre Rousseau, dans le Dictionnaire de l'approvisionnement de Paris.

« Chaque train de bois de chauffage se compose de dix-huit *coupons* en deux *parts* distinctes par tête et queue de chacune neuf coupons. Un coupon prend quatre *branches* dans lesquelles il entre six *mises* ou portions de 26 pouces, liens compris, plus deux petites mises de 4 pouces environ appelées *accoulures*. Ces mises sont contenues chacune, d'abord en tête par deux rouettes doublement croisées, appelées *simples croupières*, puis par deux autres à la fin de chaque mise, dites rouettes de tête, liées à simple tour; les deux accoulures le sont par des rouettes, également liées à un simple tour, mais qui se tournent doublement vers le bout du chantier et terminent la confection de la *branche* en faisant un nœud comme une rosace. Toutes ces différentes rouettes, ainsi que les simples croupières, sont passées sur le chantier de dessous pour lier ensemble celui de dessus et contenir le bois de chaque mise

ou accoulure. Chaque branche ayant six mises et deux accoulures couchées en travers sur quatre bûches de 42 pouces (1m,14) le coupon a donc 14 pieds carrés environ, la part contenant neuf coupons 126 pieds de long, le train 252 pieds. »

Ainsi la *mise* est une quantité de bois empilé qui a environ 0m,66 de large et 0m,66 de hauteur sur la longueur d'une bûche (1m,14), soit un cube d'environ 0st,50.

Six mises juxtaposées et attachées aux mêmes *chantiers* ou perches transversales supérieures et inférieures, forment une *branche*, c'est-à-dire un cube de 3 stères environ avec les *accoulures* qui les terminent.

Quatre branches juxtaposées forment un *coupon* de quatre largeurs de bûche, soit environ un décastère et vingt centièmes.

Neuf coupons constituent une *part* et deux parts font un *train*, lequel contient par suite de 20 à 25 décastères.

Lorsque la rivière devient plus large, c'est-à-dire aux environs d'Auxerre, on réunit deux trains pour former un *couplage*, que deux mariniers et un aide suffisent à diriger, et qui représente une masse de 2 à 300 tonneaux.

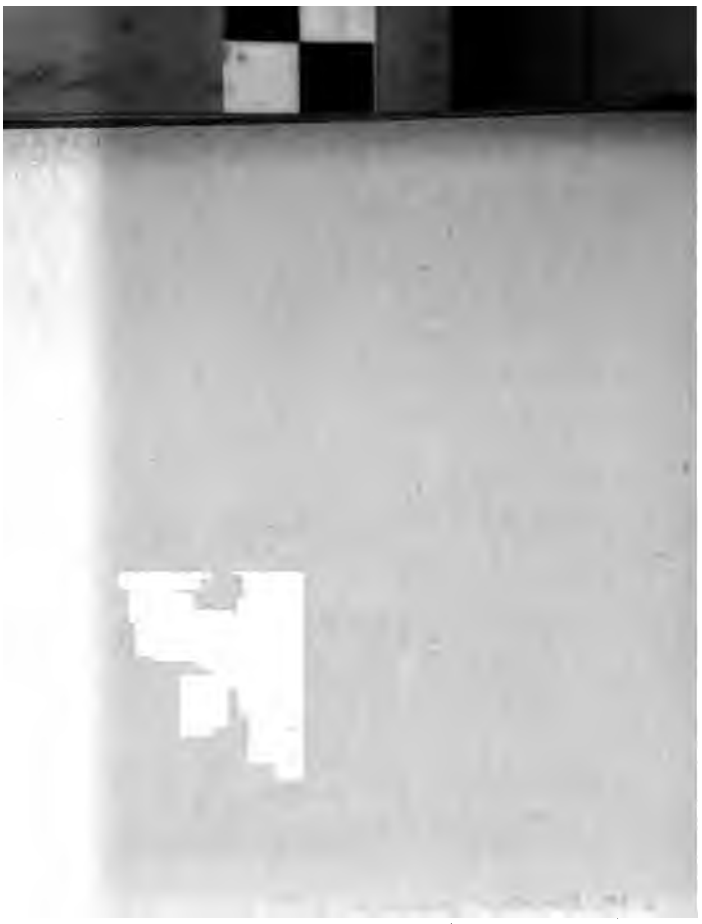
Lorsque le train est arrivé à Paris, tous les éléments qui le constituent se vendent sans exception comme bois à brûler; c'est là un des mérites de l'invention de Jean Rouvet, qui, dit-on, vers le milieu du xvie siècle, composa le train de la façon que nous venons d'indiquer, laquelle s'est perpétuée jusqu'à nos jours. Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur ce sujet; nous ajouterons seulement qu'on place les bois les plus légers à l'avant du train, et les plus lourds à l'arrière, que tous les assemblages sont assez élastiques pour permettre au train de s'infléchir comme la rivière dans ses parties sinueuses, et qu'on le guide de l'arrière en agissant sur cette partie du système, tout en aidant cette action d'un effort accessoire sur l'avant.

469. Prix du flottage. — D'après M. l'ingénieur en chef Vignon, le prix du flottage en trains d'un mètre cube de bois entre Clamecy et Paris serait de 1 fr. 80 pour 280 kilomètres, soit à peu près 0 fr. 0065 par stère et par kilomètre ou 0 fr. 013

par tonne. C'est un résultat économique assez remarquable; il est bon d'observer toutefois que le bois flotté, ayant perdu sa sève par l'imbibition, sèche plus promptement que le bois non flotté, et brûle avec une grande rapidité, ce qui lui enlève un peu de sa valeur commerciale. Soit pour ce motif, soit en raison de la peine et des fatigues qu'impose le flottage, il est certain que ce genre de navigation diminue chaque jour et arrivera peut-être bientôt à se supprimer, malgré les services qu'il a rendus et qu'il rend encore. C'est à lui surtout que peut s'appliquer le mot de Pascal : « Les rivières sont des chemins qui marchent. »

470. Trains de pièces de charpente. — Sur le modèle des trains de bois à brûler, on a construit également des trains de bois de charpente par coupons; ils ne diffèrent des premiers qu'en ce que leur homogénéité moins grande force parfois à recourir à des barriques pour soutenir les parties les plus lourdes, et équilibrer la masse. Mêmes manœuvres, du reste, et mêmes avantages de prix.

471. Nécessité de maintenir les pertuis, même sans flottage. — Ce que nous venons de dire du flottage, soit à bûches perdues, soit en trains, montre la grande utilité des pertuis à ce point de vue spécial. Terminons en observant que même si le flottage venait à disparaître complètement, les pertuis ou passes profondes n'en devraient pas moins être conservés. Ainsi que nous l'avons déjà dit, ils répondent à un triple besoin, le rétablissement de la navigation libre à certaines périodes des crues, l'écoulement des grandes eaux, et l'abaissement complet du bief supérieur pour la réparation des ouvrages qui s'y trouvent placés.



CHAPITRE XX

ÉCLUSES A SAS

SOMMAIRE :

§ 1er. *Disposition générale des écluses.* — 472. Description sommaire. — 473. Largeur. — 474. Longueur utile des écluses. — 475. Type adopté. — 476. Dimensions correspondantes des bateaux.

§ 2. *Parties constitutives des écluses à sas.* — 477. Musoirs d'amont. — 478. Coulisses. — 479. Enclave. — 480. Murs de chute. — 481. Sas. Chambre des portes d'aval. Murs de fuite. — 482. Musoirs d'aval. — 483. Section des bajoyers. — 484. Couronnement. — 485. Détails d'appareil.

§ 3. *Ouvrages accessoires destinés aux manœuvres hydrauliques.* — 486. Ventellerie dans les portes. — 487. Aqueducs dans les maçonneries. — 488. Inconvénients des aqueducs. — 489. Disposition adoptée en Amérique au canal Erié. — 490. Temps à gagner sur les manœuvres hydrauliques.

§ 4. *Portes d'écluse.* — 491. Fermeture à un seul vantail. — 492. Portes américaines à rabattement. — 493. Portes busquées. — 494. Portes du canal de Saint-Quentin. — 495. Portes du canal de Roanne à Digoin. — 496. Portes du canal de l'Est. — 497. Portes mixtes du canal de la Marne au Rhin. — 498. Portes de l'Oise. — 499. Portes en bois de la Marne. — 500. Portes en fer de la Marne. — 501. Portes de la Meuse Belge. — 502. Portes de Port à l'Anglais. — 503. Portes de la Haute Seine. — 504. Portes de la Saône. — 505. Diversité absolue des types. — 506. Qualités que doivent présenter les portes d'écluse. — 507. Étanchéité du vantail. — 508. Étanchéité du pourtour du vantail. — 509. Facilité de manœuvre des portes. — 510. Pivot et crapaudine. — 511. Axe supérieur et collier. — 512. Engins de manœuvre des vantaux. — 513. Remplissage et vidange du sas. — 514. Venteiles à jalousie. — 515. Rigidité des portes dans le sens vertical. — 516. Consolidations carrées. — 517. Consolidations triangulaires, bracon, écharpe. — 518. Flexion du vantail dans son plan. — 519. Roideur générale des portes. — 520. Facilité d'entretien des portes. — 521. Résistance à la poussée de l'eau. — 522. Expériences sur les déformations des vantaux. — 523. Détermination des dimensions des pièces. — 524. Résumé du système de construction proposé. — 525. Emploi des portes à un seul vantail.

§ 5. *Variétés d'écluses à sas.* — 526. Écluses primitives du canal du Midi. — 527. Écluse ronde d'Agde. — 528. Écluses accolées du canal de l'Ourcq. — 529. Écluse de Marly-Bougival. — 530. Écluses échelonnées. — 531. Écluses

à têtes séparées. — 532. Écluses en bois. — 533. Écluses du canal de la Marne à la Saône. — 534. Écluse de la Seine à Carrières-sous-Poissy.
§ 6. *Ponts sur écluses.* — 535. Rétablissement des communications. — 536. Position du pont. — 537. Débouché à laisser. — 538. Inconvénients de l'interruption du halage. — 539. Passage à assurer aux mariniers. — 540. Chemin de halage complet. — 541. Ponts mobiles sur écluses.
§ 7. *Abords des écluses.* — 542. Usages divers des abords d'une écluse. — 543. Dispositions générales. — 544. Bornes d'amarrage. — 545. Échelles de sauvetage. — 546. Échelles hydrométriques. — 547. Accès des bateleis. — 548. Tableau des hauteurs d'eau. — 549. Perrés aux abords. — 550. Maison éclusière. — 551. Magasin. — 552. Poste télégraphique.

Figures :

Mur de chute, art. 480. — Coupe d'une écluse du canal de l'Est, art. 483. — Appareil de busc, art. 485. — Aqueduc débouchant dans le mur de chute, art. 487. — Ecluses du canal de l'Ourcq, art. 491. — Portes du canal de Saint-Quentin, art. 494. — Portes du canal de Roanne à Digoin, art. 495. — Portes en bois de la Marne canalisée, art. 499. — Pivot et crapaudine, art. 509. — Collier des portes en fer de la Marne, art. 511. — Deux figures dans la note, art. 523. — Écluse du canal du Midi, art. 526. — Écluse ronde d'Agde, art. 527. — Écluse de Marly-Bougival, art. 529. — Écluse à têtes séparées, art. 531.

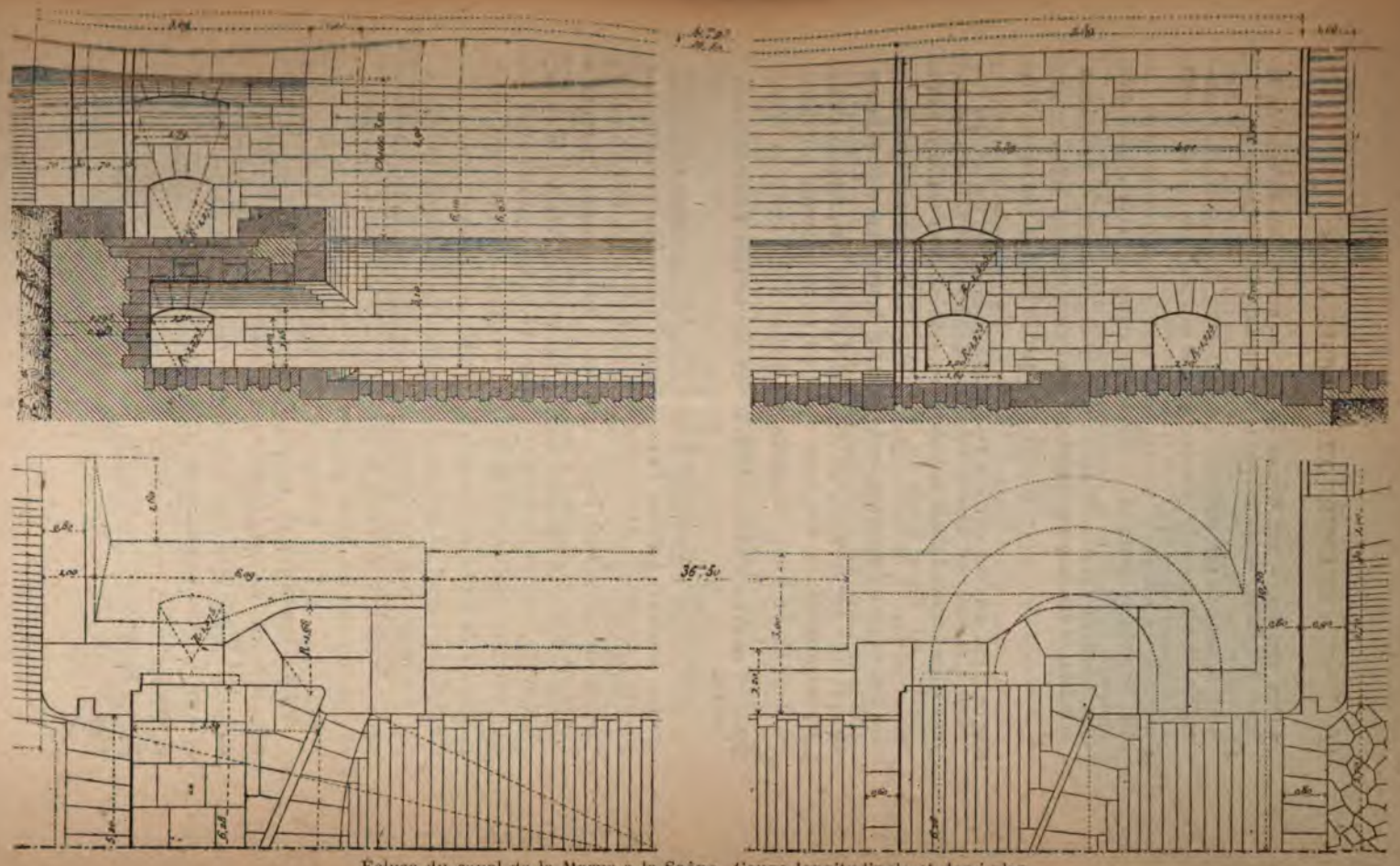
Petites planches :

Écluse du canal de la Marne à la Saône, art. 472. — Porte à rabattement du canal Erié, art. 489. — Portes du canal de l'Est, art. 496. — Portes en fer de la Marne, art 500. — Portes de la Meuse belge, art 501. — Portes de la haute Seine, art. 503. — Portes de la Saône, art. 504. — Collier des portes de l'écluse d'Ablon (Seine), art. 511. — Expériences sur les déformations des vantaux, art 522. — Autre planche, même article. — Portes de l'écluse d'Ablon et portes du canal de l'Aisne à la Marne, art. 524. — Dérivation et écluses de Carrières-sous-Poissy, art. 534. — Pont sur écluse du canal de l'Est, art. 538. — Pont sur écluse du canal Saint-Maurice, art. 539. — Ecluse du canal de l'Est, art. 543. — Aqueduc sous l'écluse de Gravelle, art. 543.

§ Ier

DISPOSITION GÉNÉRALE DES ÉCLUSES.

472. Description sommaire. — Les écluses à sas, imaginées suivant les uns, importées suivant les autres, par Léonard de Vinci vers 1480, ont été appliquées pour la première fois en France aux canaux de Briare et du Languedoc dans la seconde moitié du XVIIe siècle. C'est à cette ingénieuse conception que sont dus les progrès de la navigation intérieure ; sans elle, il eût été impossible de remonter les vallées et surtout



Ecluse du canal de la Marne à la Saône. Coupe longitudinale et demi-plan.

de franchir les faîtes qui séparent deux bassins; grâce à elle, l'ascension est presque aussi facile que la descente, et l'eau d'alimentation elle-même est devenue le moteur appelé à remonter les bateaux sur des pentes qui étaient jadis des obstacles infranchissables.

Une écluse à sas se compose de deux écluses simples ou pertuis, séparés par un intervalle que l'on nomme « sas, » et que l'on met en communication successivement avec le bief d'amont et avec le bief d'aval, afin que le bateau venant de l'un puisse passer dans l'autre, en vertu d'un simple écoulement d'eau qui l'élève ou l'abaisse de la quantité nécessaire. Le sas est ordinairement de la capacité nécessaire pour renfermer un seul bateau, et dans ce cas les murs latéraux sont dans le prolongement des murs qui limitent la largeur des écluses, et que l'on nomme *bajoyers*. Dans d'autres cas, sur la Seine par exemple, les sas sont disposés pour recevoir plusieurs bateaux à la fois, et alors les écluses d'amont et d'aval peuvent être placées d'une manière indépendante l'une de l'autre.

La fermeture de chaque écluse simple s'opère au moyen de portes doubles, buttant l'une contre l'autre, de manière que l'arête suivant laquelle elles se rencontrent fasse, vers l'amont, une saillie qui ait environ un sixième du passage. Le tourillon de ces portes est logé dans un refouillement qui se prolonge vers l'amont de manière à permettre au vantail entier de se loger dans l'épaisseur du mur au moment où l'on veut livrer passage aux bateaux. Ce refouillement entier se nomme l'*enclave* de la porte, et la partie où s'appuie le poteau tourillon est le chardonnet. La pierre inférieure du *chardonnet*, qui fait partie du radier et reçoit le pivot ou *crapaudine* de la porte, se nomme *bourdonnière* ou pierre de crapaudine.

Pour que la porte puisse tourner facilement, il faut qu'elle ne frotte pas du bas dans son mouvement de rotation, et cependant il est nécessaire d'empêcher l'eau de s'échapper entre la partie inférieure et le radier. On satisfait à cette double condition en construisant dans le plafond de l'écluse une saillie suffisante pour que la porte puisse s'y appuyer. Cette saillie est disposée de manière que les portes la touchent au

moment précis où elles buttent l'une contre l'autre. On lui a donné le nom de *busc* et les deux poteaux des portes qui supportent cette buttée se nomment *poteaux busqués*, tandis que les portes elles-mêmes reçoivent le nom de *portes busquées*.

La partie de l'écluse comprise, d'une part, entre les deux enclaves, et de l'autre entre le busc et le plan vertical passant par l'extrémité des enclaves, se nomme la *chambre des portes*. La portion surhaussée du radier contre laquelle s'appuient les portes forme le *busc*, dont les claveaux pour l'écluse d'amont se terminent d'habitude par un mur cylindrique concave que l'on nomme *mur de chute*.

Les deux écluses simples se distinguent par les appellations d'écluse d'amont et d'écluse d'aval.

473. Largeur des écluses. — L'ouverture ou largeur d'une écluse doit être telle que les plus grands bateaux de la ligne navigable desservie puissent y passer aisément. L'ouverture des écluses des principales lignes navigables est la suivante :

Canal de Berry.	$2^m,70$
Canal de l'Ourcq.	3 20
Canaux d'Ille et Rance, de Nantes à Brest. . .	4 70
Canaux de Bourgogne, de Briare, du Centre, latéral à la Loire, de la Marne au Rhin, du Nivernais, d'Orléans, du Rhône au Rhin, de Saint-Quentin et partie du canal de l'Est. . .	$5^m,20$
Canaux du Midi et latéral à la Garonne, rivière de Dordogne, partie du canal de l'Est.	$6^m,00$
Somme et Charente.	6 50
Marne	7 80
Haute Saône et Oise	8 00
Yonne	10 50
Seine	12 00
Basse Saône.	16 00

474. Longueur utile des écluses. — La longueur utile d'une écluse est la distance comprise entre la corde du mur de

chute d'amont et l'origine de la chambre des portes d'aval. Elle est calculée, pour les écluses à un seul bateau, sur la plus grande longueur des bateaux que l'écluse pourra recevoir. Il arrive toutefois souvent que les bateaux dépassent cette mesure, sauf à retirer leur gouvernail ou à ne parcourir qu'un trajet sur lequel il n'y ait pas de murs de chute, comme cela se présente parfois en rivière. Plus même que la largeur des écluses, leur longueur varie non seulement d'une voie navigable à l'autre, mais encore dans la même voie navigable.

C'est ainsi que les écluses destinées au passage d'un seul bateau ont de 28 à 35 mètres au canal du Berry, 58m,80 au canal de l'Ourcq, 29 m. aux canaux de Bretagne, 38 m. au canal de la Marne au Rhin et atteignent même 46 m., de busc en busc, sur certaines écluses du canal de l'Est.

Sur les rivières, où les bateaux acquièrent souvent de plus grandes dimensions, elle varie de 35 à 51 mètres.

Enfin, sur les cours d'eau où les bateaux naviguent en convois, on construit des sas susceptibles de recevoir tout le convoi. C'est ainsi que les écluses de l'Yonne ont 96 mètres de longueur pour contenir à la fois six bateaux de canal ou deux trains de bois à brûler. Les écluses de la Seine, avec 180 à 188 mètres de longueur, admettent douze bateaux ou quatre trains de bois à brûler. Les écluses de la grande Saône doivent avoir 160 mètres.

475. Type adopté. — Cette grande variété de longueur et de largeur des écluses constituait, pour le réseau de la France, une gêne des plus réelles, parce que la certitude d'arriver à une destination donnée n'existait plus pour un bateau, même de dimensions très restreintes. Assurément il était impossible d'accepter les grands bateaux des rivières sur les canaux ; mais il était rationnel d'uniformiser tous ces derniers, et c'est ce que l'administration a prescrit. La loi du 5 août 1879 a voulu que désormais la longueur utile des écluses de tous les canaux à construire fut de 38m,50, et que la largeur demeurât fixée à 5m,20. Quant aux canaux existants, à mesure qu'on les répare, on les ramène à ce même type.

476. Dimensions correspondantes des bateaux. — Les bateaux qui utiliseront ces écluses ne pourront pas dépasser la longueur utile ; leur largeur ne devra pas être supérieure à 5 m., afin de laisser un jeu minimum de $0^m,20$, jeu qui est loin d'être toujours atteint. Il arrive fréquemment en effet que les bateaux se gauchissent, s'ouvrent à leur partie supérieure, tout en restant à la dimension voulue dans leur sole, de telle sorte que le parallèlipipède qui les circonscrit ne trouve pas toujours place entre les bajoyers. Il en résulte des frottements, des avaries et des retards qu'il y a lieu d'éviter en tenant très strictement la main à ce que cette dimension de 5 mètres ne soit jamais dépassée.

§ II

PARTIES CONSTITUTIVES DES ÉCLUSES A SAS

Après avoir ainsi pris une idée générale de ce qu'est une écluse à sas, nous passerons en revue les diverses parties qui la constituent et nous chercherons à apprécier les dimensions qu'il convient de leur donner. Nous commencerons par l'amont.

477. Musoir d'amont. — Le mur en retour d'amont et le bajoyer, prolongés chacun suivant sa direction, se rencontreraient suivant une arête vive qui serait, en cas de choc, un danger par les bateaux. Aussi raccorde-t-on ces deux murs pour un musoir dressé en arc de cercle, de $0^m,50$ à 1 m. de rayon, suivant l'ouverture de l'écluse et le tonnage des bateaux qui la fréquentent. Il est évident, en effet, que le choc est d'autant plus redoutable que la masse choquante peut être plus considérable.

478. Coulisses. — A $0^m,10$ ou $0^m,20$ en arrière du musoir se trouve une coulisse allant jusqu'au radier et dans laquelle

peuvent se loger des poutrelles destinées à former bâtardeau. Cette coulisse varie de $0^m,20$ à $0^m,40$ de largeur, suivant la dimension à donner aux poutrelles qui doivent supporter la pression; sa profondeur est égale à sa largeur.

Quand la dimension des écluses devient un peu forte, au lieu d'une seule coulisse, on peut en placer deux; et l'espace qui sépare les poutrelles est alors rempli de terre pour former bâtardeau.

Enfin, lorsque l'ouverture devient encore plus considérable, on établit en outre des coulisses horizontales dans le radier, afin d'y loger, en cas de besoin, des pièces de bois verticales entre lesquelles se construit le bâtardeau.

Ces détails veulent être étudiés avec beaucoup de soin, en raison de la suppression probable des chômages généraux périodiques. Nous les signalons avec insistance pour ce motif, car il faudra désormais s'organiser partout pour pouvoir faire les réparations nécessaires au moyen d'un chômage local de très courte durée.

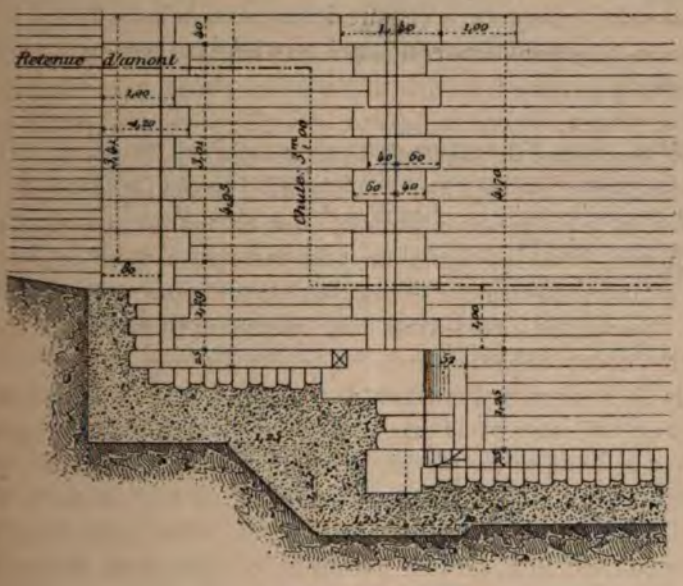
De la coulisse à l'enclave des portes d'amont, il faut une largeur suffisante pour que la pression de l'eau sur les poutrelles inférieures ne puisse pas casser les pierres d'appui, qui résistent comme une pièce encastrée et en porte-à-faux. En général on ne donne pas moins de $0^m,60$ à 1 m. à cette partie de la construction, tant en raison de ce que nous venons de dire qu'à cause de la possibilité d'un choc sur l'arête en saillie.

479. Enclave. — La longueur de l'enclave est déterminée par celle du vantail qui s'y rabat, augmentée de $0^m,10$ à $0^m,15$, pour que l'eau se dégage aisément de derrière la porte, pendant le mouvement de celle-ci. La profondeur de l'enclave n'est pas moindre que l'épaisseur de la porte à y loger, ferrures et ventellerie comprises.

En général, il est prudent de calculer très largement cette enclave. Les portes se détériorent avec le temps et ont besoin d'armatures qui augmentent leur épaisseur; il est bon en outre qu'elles puissent, quand elles sont ouvertes, se trouver dans un plan situé un peu en arrière du bajoyer, afin d'éviter les chocs. En un mot, il convient que la porte soit très

à l'aise dans son enclave, sur toutes ses faces; c'est la meilleure manière de la protéger et d'en rendre l'entretien facile.

480. Murs de chute. — Après la chambre des portes d'amont se trouve le mur de chute, qui dessine un ressaut dans le radier et rachète une partie de la différence de niveau du



Mur de chute.

plafond des biefs d'amont et d'aval. A la rigueur, sur les canaux, ce mur de chute pourrait avoir une hauteur précisément égale à la chute de l'écluse, mais cette disposition donnerait lieu à des inconvénients graves. Les ventelles des portes se trouveraient si haut placées que les bateaux montants, au début de leur éclusée, auraient à souffrir de l'eau qui en jaillit avec violence pour remplir le sas; en outre, au moment de la vidange du bief d'amont, ce bief se viderait mal si son plafond restait horizontal. On préfère abaisser assez le mur de chute pour que les ventelles soient toujours noyées, et l'on se raccorde avec le plafond du bief d'amont, soit par un autre mur de chute placé en tête de l'écluse, soit par un plan in-

cinal, bien que cette dernière disposition soit moins fréquemment adoptée. Elle a le tort, en effet, d'aider au glissement des dépôts dans l'écluse même.

Dans les rivières où le lit ne présente que bien rarement des ressauts brusques analogues à ceux du plafond des canaux, on se dispense généralement de murs de chute. Les deux bassins sont de niveau et les portes ont la même hauteur. Cependant, rien ne s'opposerait à ce que la même manière de faire fût suivie, si quelque circonstance particulière venait à la justifier.

484. Sas. Chambre des portes d'aval. Murs de fuite. — A l'aval du mur de chute se trouve le sas proprement dit, qui règne jusqu'à la chambre des portes d'aval, laquelle est identique, sauf la hauteur, à la chambre des portes d'amont.

Viennent ensuite les murs de fuite dont le rôle est de résister à la poussée de l'eau sur les portes d'aval, poussée qui tend soit à les renverser, soit à les faire glisser parallèlement à eux-mêmes, suivant les cas.

M. Mary rapporte qu'il a vu trois écluses dans lesquelles les murs de fuite d'aval étaient séparés par une lézarde des murs d'enclave. Quand on remplissait le sas, ces murs s'inclinaient du haut vers l'aval; et quand on vidait le sas, ils revenaient en place, obéissant ainsi à la poussée de la retenue sur un sol dont l'élasticité leur rendait leur position primitive, quand la pression n'existait plus. De semblables mouvements ne peuvent être que très préjudiciables aux maçonneries, et la stabilité des murs de fuite doit être assurée.

Divers procédés ont été donnés pour calculer la longueur des murs de fuite, leur profil étant connu : mais le problème est si complexe qu'il est bien difficile au calcul de tenir compte, nous ne dirons pas de toutes les circonstances de la question, mais seulement des principales. C'est d'abord la part de poussée absorbée par le buse qui est absolument inconnue, parce qu'elle varie avec la valeur de la porte, ainsi que nous le verrons plus tard. Le point d'application de la pression n'est pas moins inconnu, parce qu'il change avec la déformation des vantaux. Enfin, il ne faut pas perdre de vue que le

mur de fuite résiste à la fois par son adhérence au mur de l'enclave auquel il est attaché, par l'appui que lui prête le radier qui est lui-même encastré sous le buse, et par la réaction du sous-sol de fondation, si bien mise en évidence par l'exemple que cite M. Mary. Il y a là un jeu, une série de forces dont l'influence est malaisée à définir.

Nous insisterons d'autant moins sur l'utilité de ce calcul que c'est toujours sur les murs de fuite que l'on place les ponts destinés à assurer le passage au-dessus des écluses, et qu'ainsi on est conduit le plus souvent par des besoins étrangers à la pression des portes d'aval, à donner à cette partie de la construction une longueur plus que suffisante pour la résistance.

En fait, il est rare que la longueur des murs de fuite soit moindre que la hauteur qui sépare le niveau du bief d'amont de la partie inférieure de la construction. Un peu plus grande quand la chute est forte, l'écluse large, et les fondations douteuses, un peu plus faible dans les circonstances opposées, elle demeure aux environs de cette égalité dans les écluses dépourvues de pont. Peut-être cette proportion est-elle un peu exagérée, si l'on n'envisage que la charge normale produite par le jeu périodique de l'écluse, mais il faut se dire que les murs de fuite peuvent avoir à supporter une poussée plus forte en cas de réparations entraînant un abaissement partiel ou total du bief d'aval.

482. Musoirs d'aval. — Enfin à l'extrémité des murs de fuite prennent place des musoirs d'aval, absolument semblables aux musoirs d'amont et raccordant les bajoyers avec les murs en retour. Ces derniers limitent l'ouvrage et n'ont d'autre rôle à l'aval comme à l'amont, que de soutenir le terre-plein de l'écluse.

Ajoutons que dans ces mêmes murs de fuite doivent se trouver des coulisses qui permettent l'établissement d'un bâtardeau semblable à celui d'amont, et, par suite, la vidange complète du sas pour la réparation des portes ou du radier, entre les deux biefs à leur niveau normal.

483. Section des Bajoyers. — La section à donner aux bajoyers est un des éléments les plus importants de la constitution d'une écluse, parce que leur cube est considérable, et nous nous arrêterons un instant sur leurs dimensions.

Le bajoyer est un véritable mur de soutènement. On lui donne généralement, pour des raisons que nous verrons ultérieurement, une paroi verticale du côté du sas, tandis que, du côté des terres, on l'élargit à la base, afin de lui donner une forme trapézoïdale qui assure sa masse et sa résistance au renversement. La différence de largeur se rachète tantôt par une série de retraites, tantôt par un plan incliné : M. l'inspecteur général Graeff fait remarquer que les retraites gênant le tassement des terres, on a plus de chances d'avoir des filtrations longitudinales dans ce cas qu'avec un plan incliné ; il conseille cette dernière disposition.

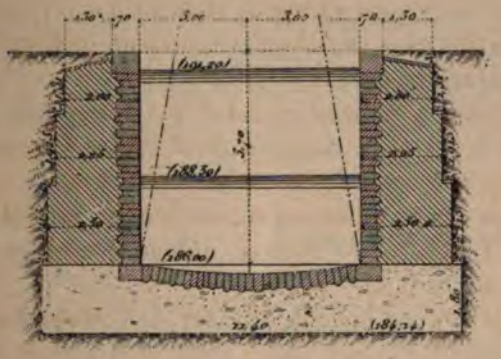
La largeur du trapèze, en haut, est déterminée par la condition de recevoir le couronnement d'abord, puis en arrière un pavage maçonné d'une épaisseur suffisante à ce que l'ensemble, en cas de gelée du sol avoisinant, ne soit pas poussé au vide. L'expérience montre qu'une épaisseur de $1^m,20$ à $1^m,30$ atteint ce but.

Le trapèze aura donc la hauteur de l'écluse, un côté vertical, $1^m,20$ à $1^m,30$ pour petite base, et la grande base reste à déterminer. Pour y arriver, on a souvent recours à un procédé graphique indiqué par M. Mary et qui permet cette détermination après quelques tâtonnements, en partant d'une première hypothèse arbitraire à l'aide de laquelle on évalue la poussée sur le profil choisi à l'avance. Cette poussée agira normalement à la surface qui touche les terres ; lorsque le terre-plein s'infiltrera, elle deviendra celle de l'eau ; et même dans certains cas celle d'un liquide plus lourd que l'eau, auquel on peut attribuer une densité de $1^m,20$. De plus, si pour une cause quelconque on vient à vider l'écluse, la pression s'exercera sur une hauteur égale à la profondeur de l'écluse au-dessous du bief d'amont ; c'est là, il est vrai, le cas le plus défavorable, mais il est bon de s'y supposer placé.

On détermine, pour cette situation défavorable, par une construction connue, la résultante des deux forces qui agissent

sur le bajoyer par mètre courant, et qui sont le poids du mur d'une part, et la poussée du liquide d'autre part. Cette résultante a une direction qui passe à une certaine distance du parement du bajoyer, distance qui doit être telle que l'effort maximum que supporte la pierre, ne dépasse pas la limite qu'on s'est imposée comme résistance des matériaux employés; cette résistance, on le sait, est extrêmement variable, et si la limite était dépassée il faudrait ou modifier la forme du mur pour gagner de l'espace, ou changer les matériaux prévus pour en prendre de plus durs.

Au droit des portes, les deux vantaux en pleine charge



Coupe d'une écluse du canal de l'Est.

réagissent l'un sur l'autre, et peuvent tendre à écarter les bajoyers par le haut. On les renforce alors du côté des terres, à leur partie supérieure, au droit du chardonnet; et l'on y trouve cet avantage de fournir aux colliers un solide massif de maçonnerie pour le scellement des boulons qui les tiennent en place.

L'habitude est de supprimer là, sur la longueur nécessaire au scellement des colliers, les retraites ou le plan incliné qui, sur le profil normal, dessinent le parement du coté des terres. Ce parement devient alors vertical et la forme du bajoyer parallélipipédique. On a cherché à évaluer par le calcul l'effort de renversement que peuvent produire les portes; mais, ici encore, comme pour les murs de fuite, il est bien difficile de

se rendre compte des forces qui agissent sur le système. On ignore, ainsi que nous l'avons déjà dit, quelle est la part de poussée dont le busc et le radier soulagent les portes ; le point d'application de la pression qui reste varie avec la roideur de la porte ; enfin, il est impossible de savoir quelle résistance le massif poussé emprunte au reste du bajoyer, dont en somme il fait partie. Les forces actives et passives sont donc très mal déterminées, et on conçoit dès lors, comment leurs conditions d'équilibre ne peuvent être que la conséquence d'hypothèses contestables sur les nombreuses inconnues du problème.

484. Couronnement. — Enfin, sur les bajoyers, tout autour de l'écluse, règne le couronnement, c'est-à-dire une solide pierre de taille qui n'a pas moins de $0^m,40$ de hauteur d'assise avec une largeur variable de $0^m,60$ à $0^m,80$. Son arête saillante est arrondie ; et, du côté des terres, elle se relie au terre-plein par un pavage maçonné sur la largeur du bajoyer au moins, et sur une étendue plus grande si la circulation l'exige.

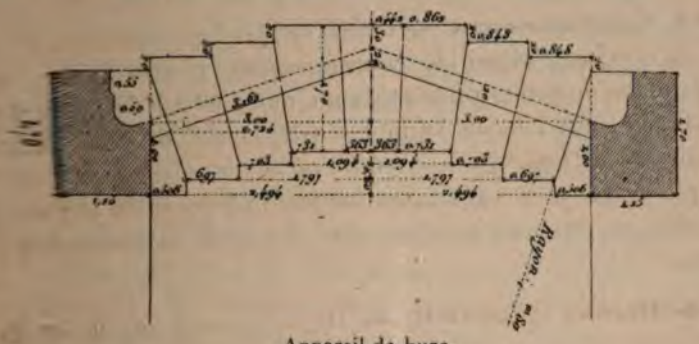
485. Détails d'appareil. — Dans une écluse, le choc possible des bateaux réclame que tous les angles ou plutôt toutes les parties saillantes des bajoyers, vues en élévation, soient en pierres de taille. Les musoirs sur toute leur partie courbe, les coulisses, les enclaves des portes et surtout les chardonnets qui sont des pierres de forte sujétion, ont besoin de grandes dimensions ; en outre, toutes les arêtes doivent être arrondies, c'est le seul moyen d'éviter les épaufrures.

Les chaînes de pierres de taille sont réunies d'ordinaire par des assises de moellon smillé d'une hauteur moitié moindre ; alors, de distance en distance, on place dans ce grand parement de moellons des pierres de taille en quinconce, appelées carreaux, qui sont d'un effet assez agréable à l'œil tout en contribuant à la solidité du parement.

Des sujétions analogues s'imposent au radier : Le mur de chute, qui supporte la poussée du busc d'amont, reçoit une forme circulaire qui lui permet de résister comme une voûte à la pression d'amont. La flèche de cette voûte est d'environ 1/6 ou 1/8 de l'ouverture.

Les buscs ont une saillie de 0m,25 à 0m,30 sur le radier. Ils sont composés d'une suite de voussoirs qui viennent s'appuyer sur les deux bourdonnières comme culées, et dont les redents, amont et aval, se raccordent avec les assises des moellons smillés du radier et de la chambre des portes.

La saillie du busc s'obtient par un refouillement de la pierre vers l'amont ; la partie de chaque claveau noyée dans le radier ne doit pas avoir moins d'une fois et demie cette saillie, en sorte que les pierres de busc ont nécessairement une assez



Appareil de busc.

grande hauteur. Leur longueur totale dépassant toujours 1m,50, la largeur doit correspondre aux dimensions habituelles des blocs qui satisfont aux deux premières exigences, tels que les fournissent les carrières. Il s'ensuit une largeur de voussoir généralement assez considérable.

La bourdonnière est faite d'un seul morceau qui s'engage sous le chardonnet et sous le bajoyer, lesquels l'encastrent, tandis qu'un refouillement pratiqué au droit du poteau tourillon permet d'y sceller la crapaudine. On lui donne toujours une épaisseur plus considérable qu'aux claveaux et on a soin de l'asseoir sur la maçonnerie du radier avec solidité, en raison du poids qu'elle a à supporter. Cependant il est utile que ce poids, quand il doit être un peu considérable, ne porte pas sur une des extrémités de la pierre qu'il pourrait déranger ou briser. Si cette condition était difficilement remplie avec une seule pierre, il vaudrait mieux composer la bourdonnière de deux morceaux que de s'exposer à un défaut dans l'aplomb du pivot, défaut

qu'on ne pourrait corriger après coup. Pour les bourdonnières d'écluses importantes, et pour tout le busc du reste, nous pensons que l'emploi du granit est une chose à réaliser, toutes les fois que faire se peut.

Les joints des claveaux sont d'habitude des plans verticaux passant par les divers rayons d'un arc de cercle dont le centre est placé sur l'axe de l'écluse, et dont le rayon est à peu près égal à l'ouverture.

Lorsque l'écluse est très grande, et la chute forte, il arrive souvent que l'on donne au busc, dans le sens vertical, la forme d'une plate-bande renversée, de façon que cet appareil forme voûte à la fois contre la pression des portes et contre la sous-pression des eaux. Les joints sont alors une suite de plans ayant pour trace horizontale les mêmes rayons que précédemment, mais qui au lieu d'être verticaux, passent tous par une ligne inclinée sur l'axe d'une quantité qui varie entre 45° et 1 de base pour 1 1/2 de hauteur. La taille en devient plus difficile, mais la sécurité augmente. Il faut, toutefois, pour demander ce double travail aux voussoirs, se procurer des pierres d'excellente qualité, et ici le granit devient indispensable. Enfin, on termine généralement l'écluse par une plate-bande en pierre de taille qui s'oppose à tout déplacement du radier au droit des murs de fuite, sous la poussée de l'eau, lorsque le sas est plein. Cette plate-bande a une hauteur qui varie suivant les cas de 1 mètre à $1^{m},50$.

Tous les appareils du radier sont réunis par un parement en moellon smillé dont les joints continus sont, de préférence, placés normalement au courant ; on donne souvent à ce parement la forme d'une voûte renversée ayant une flèche de 1/30 environ au-dessous du plan des buscs, afin d'assurer chaque moellon contre les effets de la sous-pression qui pourrait le soulever si le revêtement ne faisait pas parfaitement corps avec le radier.

§ III

OUVRAGES ACCESSOIRES

DESTINÉS AUX MANŒUVRES HYDRAULIQUES

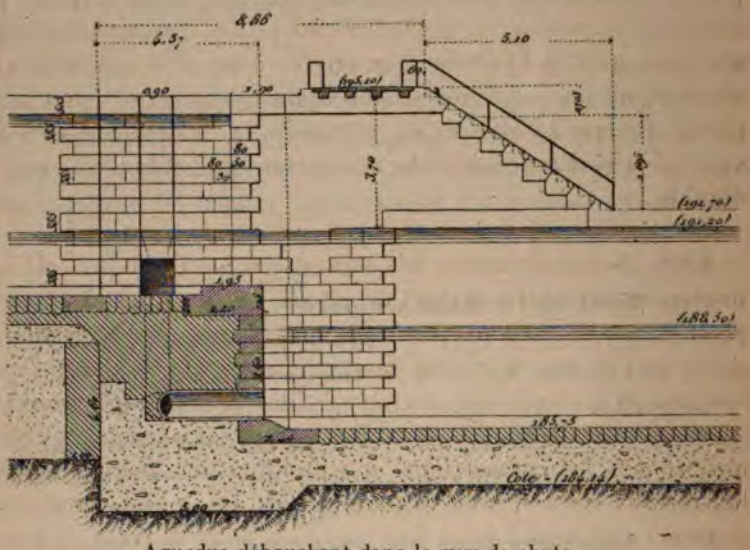
Les procédés employés pour remplir le sas ou le vider ont une assez grande importance, en raison de la durée des manœuvres qui s'ensuivent. Ils entraînent même dans la construction des écluses des modifications dont il est opportun de parler ici.

486. Ventellerie dans les portes. — Le plus généralement on a recours à des ventelles placées dans la partie inférieure des portes, entre les entretoises extrêmes. Nous nous occuperons de ces ouvrages en même temps que des portes, et nous ne nous y arrêterons pas à présent, puisqu'ils sont en dehors de la construction des parties fixes de l'écluse.

487. Aqueducs dans les maçonneries. — Quand les sas sont grands et la navigation active, on peut augmenter les moyens de remplissage et de vidange en construisant, dans les bajoyers, des aqueducs dont la tête est placée dans la chambre des portes, et qui débouchent à l'aval du chardonnet, lequel se trouve ainsi contourné. Une vanne manœuvrée du couronnement permet l'émission de l'eau latéralement, soit d'un côté de l'écluse, soit des deux côtés à l'aide de deux aqueducs, suivant la rapidité que l'on veut imprimer à la manœuvre hydraulique. Ces aqueducs ont toutefois l'inconvénient, quand on cherche à en tirer un parti trop complet, de créer des courants violents à leur débouché; il en résulte pour les bateaux ascendants une poussée latérale, s'il n'y a qu'un aqueduc, et une grande agitation de l'eau, s'il y en a deux en face l'un de l'autre.

On a remédié à cet inconvénient en faisant déboucher ces

aqueducs dans la paroi verticale du mur de chute (écluse de Frouard). Là, les eaux suivent un tuyau de 0m,70 de diamètre, contourné deux fois à angles droits, et arrivent au sas dans l'axe même de l'écluse. Le courant, alors, frappe le bateau dans le sens de son amarrage, et se perd mieux dans la longueur de l'écluse.



Aqueduc débouchant dans le mur de chute.

Dans ces dernières années, on a perfectionné encore ce mode d'adduction des eaux. Les deux aqueducs latéraux, au lieu de s'évacuer par un orifice de faible dimension placé dans l'axe de l'écluse, jettent leurs eaux dans une cavité placée sous le mur de chute même où la vitesse se perd en fluctuations, de sorte que le sas se remplit avec plus de calme, bien qu'avec la même rapidité. Cette disposition, approuvée pour le canal de la Marne à la Saône en 1881 et déjà exécutée sur plusieurs autres canaux, est celle que présente la figure annexée à l'art. 472.

On a encore continué les aqueducs sur toute la longueur des bajoyers jusqu'à l'enclave d'aval, en les faisant déboucher dans le sas, soit à leur extrémité, par un orifice unique pour chaque aqueduc, soit par plusieurs orifices répartis sur la

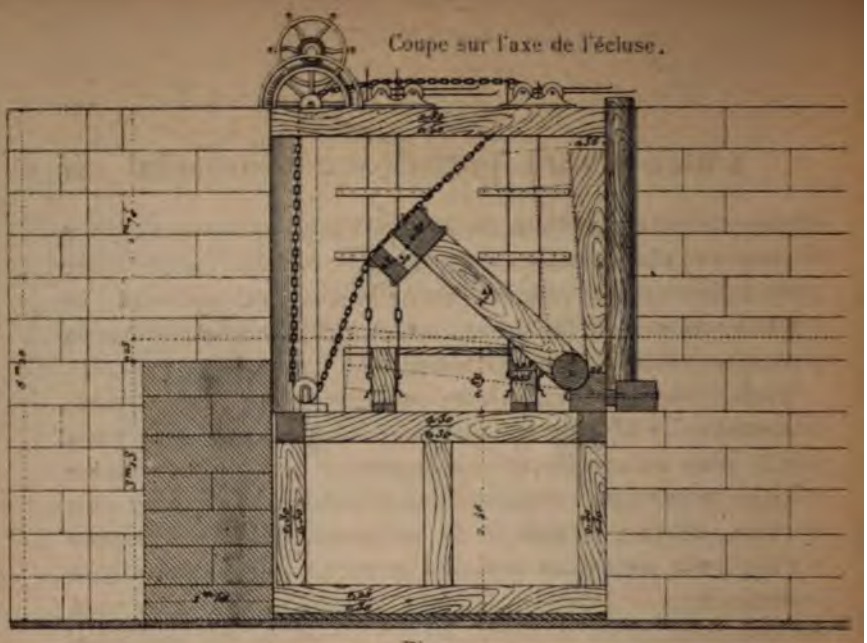
longueur du sas. On a ainsi dirigé l'écoulement sur plusieurs issues et obtenu moins d'agitation.

Il s'est même produit, lorsque la section de ces aqueducs a été assez grande (4 mètres carrés), un effet automatique assez remarquable. L'eau qui remplit l'aqueduc, quand le sas est plein, continue à y pénétrer en vertu de sa vitesse acquise, y surélève le niveau, et entr'ouvre les portes d'amont dont on n'a plus qu'à achever la manœuvre. L'équilibre se rétablit ensuite par une ou plusieurs oscillations, mais on n'en a pas moins obtenu, à l'aide de la première, la force nécessaire à vaincre la résistance initiale des portes qui est la plus considérable.

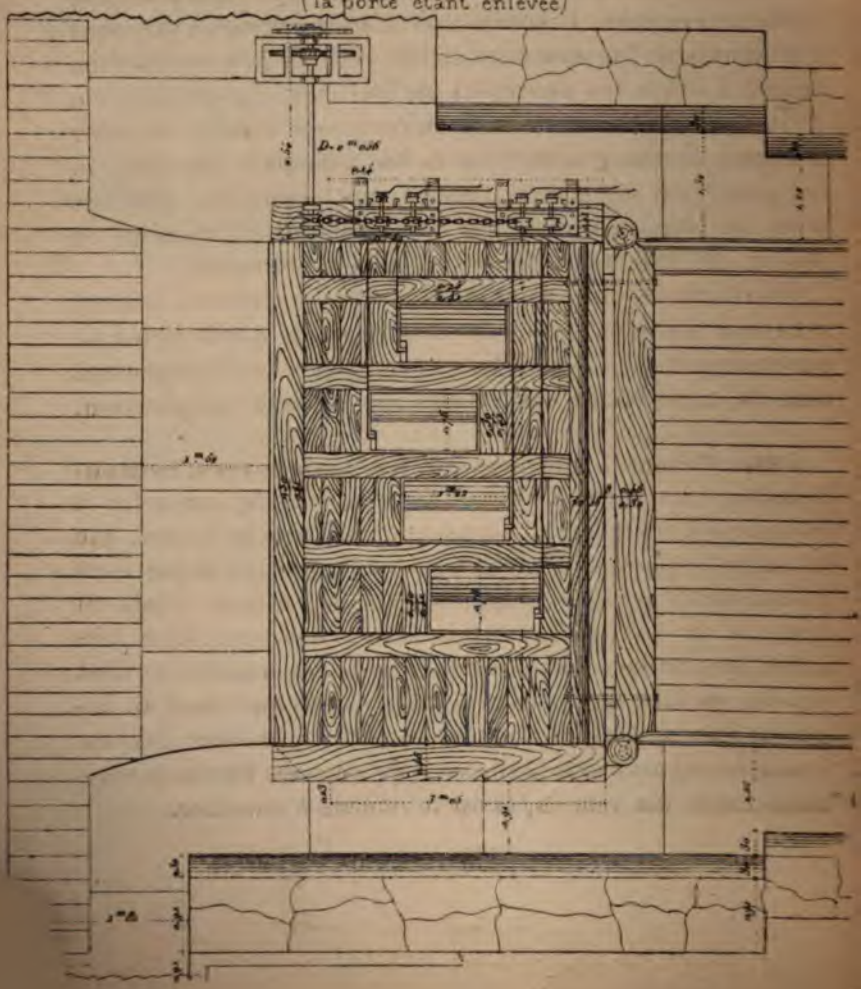
488. Inconvénients des aqueducs. — Quel que soit le mode employé, il convient de n'user des aqueducs qu'avec précaution. Si, surtout quand ils sont de grande dimension, on venait à les ouvrir au moment où la chute a toute sa hauteur, on créerait des courants et des mouvements tumultueux qui seraient un danger. Les transports par eau, à l'intérieur, sur les canaux surtout, emploient des bateaux dont la construction comporte une navigation tranquille, les chargements qu'on impose à ces bateaux sont souvent à leur maximum, et il s'ensuit la nécessité d'éviter avec soin tout ce qui peut compromettre leur sécurité. Les instructions données aux éclusiers qui ont à leur disposition les ouvrages dont nous parlons doivent donc répondre à cette condition, et la plus grande prudence leur est nécessaire. Il ne faut pas qu'ils perdent de vue qu'un bateau qui brise ses amarres dans l'intérieur d'un sas va le plus souvent frapper les portes qu'il avarie ; en outre, s'il vient à couler à fond dans l'écluse même, la navigation se trouve interceptée, ce qui rend l'accident doublement regrettable.

489. Disposition adoptée en Amérique au canal Érié. — Les Américains ont remplacé au canal Érié les aqueducs dont nous venons de parler par une disposition simple et économique. Disons d'abord, pour faire comprendre la figure, que pour la fermeture d'amont ils n'emploient pas

Coupe sur l'axe de l'écluse.



Plan
(la porte etant enlevee)



les portes busquées, mais un vantail unique qui tourne autour de son arête inférieure horizontale et se rabat sur le radier pour laisser passer les bateaux. Debout, au contraire, ce vantail s'appuie sur le busc et les bajoyers, pour supporter la pression due à la chute de l'écluse.

Ceci dit, le mur de chute, au lieu d'être placé sous le busc, est reporté de $3^m,50$ vers l'amont, et l'espace qui sépare ces deux pièces est rempli par un plancher en bois percé de quatre orifices fermés par des ventelles mobiles autour d'un axe médian. La face inférieure de ce plancher est alors baignée par les eaux du sas, tandis que la face supérieure reçoit la pression de celles du bief d'amont. En ouvrant ou en fermant les ventelles, ce qui est toujours facile, puisqu'elles sont équilibrées sur leur axe, on peut établir ou supprimer à volonté la communication et obtenir à de moindres frais ce que nous obtenons avec les aqueducs. Il est vrai qu'en compensation on a été conduit à introduire le bois dans la construction de la partie fixe des écluses; on est amené aussi à se servir d'engins toujours noyés, et de la manœuvre desquels on ne peut, par suite, être constamment assuré, en sorte que nous ne nous regardons pas comme autorisé à conclure en faveur du système, malgré son évidente économie.

Nous terminerons, en ce qui regarde ces aqueducs, par une réflexion qui nous semble nécessaire après la description de ces ouvrages nécessairement coûteux, parce qu'ils apportent dans la construction des écluses une certaine complication.

490. Temps à gagner sur les manœuvres hydrauliques. — On verra plus tard, à propos de la dimension à donner aux ventelles qui sont pratiquées dans les portes, que le temps employé au remplissage et à la vidange du sas n'est qu'une faible partie du temps occupé par l'éclusée totale. Si donc on veut répondre aux besoins d'une navigation très active, et diminuer notablement la durée des éclusées, ce n'est pas au remplissage et à la vidange du sas qu'il faudrait demander un progrès, c'est à l'approche et à la sortie des bateaux aux abords et à l'intérieur des écluses. Là est la véritable cause des retards, là est le remède à chercher.

On ne s'étonnera pas de ce que nous venons de dire lorsqu'on réfléchira que tout bateau qui aborde une écluse doit s'ébranler d'abord, y pénétrer avec une vitesse dont on demeure toujours maître, et là refouler les eaux du sas de l'avant à l'arrière d'une section qu'il remplit presque complètement. Il y a donc, surtout pour les bateaux chargés ascendants, des frottements de toute nature qui entraînent des retards bien plus préjudiciables qu'une manœuvre hydraulique aisée à réaliser en deux à trois minutes sur les canaux avec les simples ventelles dont les portes sont munies. Sur les grandes écluses de rivière, il faut assurément plus de temps, mais les approches en exigent également davantage, et peut-être dans une proportion encore plus considérable.

On peut donc dire que les aqueducs, auxiliaires des ventelles des portes, ont une utilité incontestable pour éviter les fluctuations que cause un écoulement rapide ; on peut ajouter qu'ils épargnent aussi quelques instants sur la durée de l'éclusée ; mais leur avantage n'est réellement très sensible que dans l'exploitation d'une voie d'eau très fréquentée où il faut, même à un prix élevé, gagner du temps pour éviter l'encombrement. Peut-être serait-il préférable, en thèse générale, c'est-à-dire pour les voies de fréquentation moyenne ou faible, de consacrer le capital qu'ils coûtent à diminuer les résistances qui naissent de l'entrée et de la sortie des bateaux, ainsi que de leur approche aux abords de l'écluse.

§ IV

PORTES D'ÉCLUSE.

Le mode de fermeture employé en France pour le passage des écluses à sas est, d'une manière presque exclusive, la double porte busquée dont nous allons nous occuper à présent.

491. Fermeture à un seul vantail. — Nous avons dit « presque exclusive ». C'est qu'en effet on fait usage, sur des canaux à faible section, le canal de l'Ourcq par exemple, de portes à un seul vantail fonctionnant comme une porte d'appartement. La figure ci-contre donne une idée de cette disposition. Le sas est double, en sorte que l'ouvrage se compose en réalité de deux écluses accolées de 3 mètres d'ouverture qui n'ont qu'une enclave à chaque extrémité ; dans cette enclave se meut un vantail unique, lequel vient buter contre une feuillure creusée dans le mur intermédiaire qui sert de bajoyer commun. Le peu de largeur de l'ouverture, la juxtaposition des sas, séparés par un mur de $0^m,60$ seulement, justifient complètement le choix de fermeture qui a été adopté.

Écluses
du canal de l'Ourcq.

492. Portes américaines à rabattement. — Les Américains, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire (art. 489), ont composé les portes d'amont du canal Érié d'un vantail unique tournant autour d'un axe horizontal placé le long du busc. Ici l'ouverture est de $5^m,80$, c'est-à-dire supérieure à celle de la plupart de nos canaux ; l'appareil construit en bois perd son poids dans l'eau, et se manœuvre par suite très aisément. La figure donne une idée de ce système dont les Américains, paraît-il, sont satisfaits. Tout en rapportant cette opinion, nous pensons qu'une expérience faite sur nos canaux serait nécessaire pour que l'on pût juger en connaissance de cause. Il est certain que l'idée première est simple et pratique ; le busc et les chardonnets avec leur forme compliquée disparaissent ; la porte s'efface complètement et demeure à l'abri

des chocs ; les bajoyers eux-mêmes peuvent être moins longs et composés de matériaux moins dispendieux, puisqu'ils n'ont plus besoin du même appareil ; enfin, la composition du vantail unique, plan, et appuyé sur tout son pourtour, est d'une construction courante et facile.

Par contre, l'axe de rotation est tout entier sous l'eau et demeure noyé ; les dépôts que les courants peuvent amener viennent précisément occuper l'emplacement sur lequel la porte se rabattra, et nous voyons dans ces circonstances des éléments de mécomptes qu'il ne faut pas passer sous silence. Tout en réservant l'avenir à ces portes, il convient donc d'attendre, pour les conseiller, une expérience que leur valeur mérite complètement, d'ailleurs.

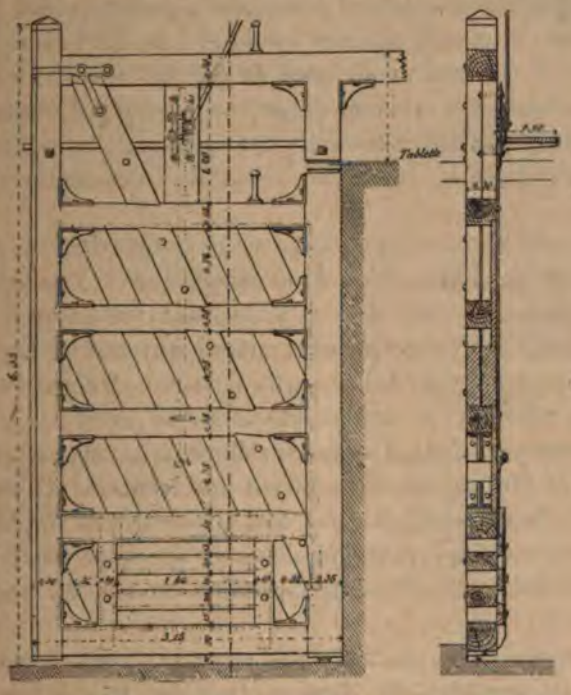
493. Portes busquées. — Revenons donc aux portes busquées qui sont entrées profondément dans les habitudes de la navigation, que tous les éclusiers, mariniers et charpentiers connaissent et auxquelles il sera sage de ne renoncer qu'à bon escient.

Les portes busquées se composent de deux vantaux destinés à supporter la chute d'eau rachetée par l'écluse qu'elles desservent. Elles sont soutenues, latéralement, par les bajoyers, en bas par le busc, tandis qu'au milieu du passage elles s'appuient l'une sur l'autre. Il en résulte des conditions d'équilibre extrêmement complexes, surtout quand l'usure se fait sentir et agit d'une manière différente sur les diverses parties du système, comme il arrive toujours dans un ouvrage à demi immergé.

Avant d'aborder l'étude de leur construction, il sera bon de passer en revue quelques-uns des types en usage, pour se faire une idée des différentes manières dont le problème a été résolu.

494. Portes du canal de Saint-Quentin. — Les portes du canal de Saint-Quentin sont en bois, de l'espèce dite à balancier, c'est-à-dire manœuvrées à l'aide de l'entretoise supérieure prolongée sur le terre-plein. Cette entretoise fait, dans une certaine mesure, contrepoids au vantail, et offre à l'éclu-

sier chargé de la manœuvre un bras de levier plus ou moins long, à l'aide duquel il peut vaincre les résistances qui proviennent soit des frottements, soit du déplacement de l'eau par le vantail en mouvement. En ce qui concerne l'équilibre sur l'axe de rotation, entre cette simple pièce de bois d'une part, et le vantail d'une autre part, il ne sera pas inutile de



faire remarquer que, dans le moment où les portes vont se manœuvrer, elles sont en grande partie immergées, et perdent ainsi, lorsqu'elles sont en bois, une très notable fraction de leur poids.

Chaque vantail est composé d'un cadre de $0^m,30$ sur $0^m,30$ (le poteau tourillon a même $0^m,30$ sur $0^m,35$) et de quatre entretoises intermédiaires de $0^m,28$ à $0^m,30$ de hauteur et de $0^m,25$ à $0^m,35$ d'épaisseur. Ces entretoises sont espacées à peu près également, à partir du niveau de l'eau d'amont, et supportent un bordage de $0^m,05$ d'épaisseur, dirigé dans le sens de la diagonale de la porte.

Contre la déformation dans le sens vertical, le vantail est soutenu par le bordage dont nous venons de parler, qui relie la plus basse des entretoises intermédiaires à la plus haute, et par un bracon. Le bracon est une pièce de bois diagonale double, dont la partie amont est continue et entaillée au passage de chaque entretoise, tandis que la partie aval se compose de morceaux séparés, assemblés à embrèvement avec les entretoises et réunis par des boulons à la partie continue de la pièce. Le bracon va du pied du poteau tourillon à l'extrémité du balancier voisine du poteau busqué et réalise ainsi dans le système un assemblage triangulaire, c'est-à-dire indéformable, dans la limite de résistance des matériaux employés.

L'assemblage des pièces horizontales et verticales est rendu plus rigide par l'apposition dans chaque angle, d'un fort écoinçon en fonte, fixé par des vis à bois aux pièces qu'il réunit.

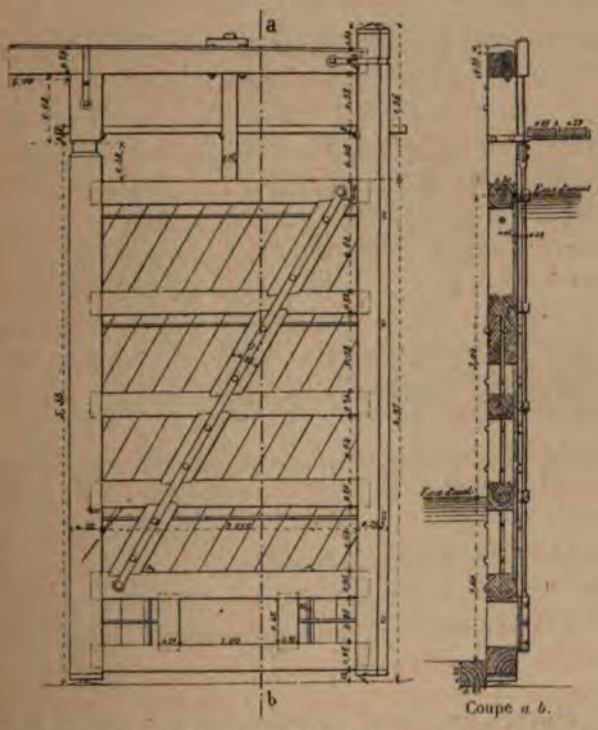
Ces portes sont excellentes et ont fait, suivant M. Lermoyez, un service aussi satisfaisant que possible. Malgré les chocs qu'elles reçoivent quand les éclusées sont précipitées, malgré des manœuvres dont le nombre s'élève pour certaines écluses à 12 ou 13,000 par an, elles durent une trentaine d'années, se réparent facilement, et pour une ouverture de $5^{m},20$ représentent, en n'employant que des bois de choix payés 270 fr. le mètre cube, une dépense première de 135 fr. par mètre carré.

Le succès est dû, suivant nous, en ce qui concerne la longue durée, au soin apporté dans le choix des bois à l'origine et dans l'entretien vigilant des diverses parties ; en ce qui concerne la résistance, nous la voyons d'abord dans une bonne répartition des charges, ensuite dans le balancier qui tend à soulager les assemblages et qui, surélevant la ferme, la rend plus rigide pour une même largeur. Le bracon est également dans de bonnes conditions de support, puisqu'il forme avec la pièce qu'il étaye un angle assez voisin de l'angle droit ; il en est de même des bordages. Ces heureuses dispositions ont agi plus efficacement à notre avis que ces lourds écoinçons en fonte qui, placés dans l'angle même, ne travaillent qu'à l'extrémité d'un bras de levier fort court ; fixés, d'ailleurs, avec

les vis à bois, ils ne donnent au système qu'une rigidité en quelque sorte précaire, qui doit cesser aussitôt que le bois s'altère.

Les portes sont munies de ventelles dites à jalousie ; c'est-à-dire fractionnées en pleins et en vides qu'un très léger mouvement amène vis-à-vis des orifices de dimension semblable, percés dans chaque vantail à sa partie inférieure. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1866, 1er semestre.)

495. Portes du canal de Roanne à Digoin. — Les portes du canal de Roanne à Digoin sont du même genre ;



Coupe *a b*.

toutefois elles présentent des différences utiles à signaler. Les équerres d'angle sont supprimées, mais on trouve en plus que dans les portes précédentes des boulons traversiers horizontaux, qui compriment les entretoises entre les deux poteaux. Cette liaison spéciale, qui maintient les assemblages en place,

est d'autant plus avantageuse que l'on peut assurer constamment la tension des boulons par un serrage convenable de l'écrou, et entretenir ainsi dans tout le vantail, même ancien, une compression très favorable à la résistance comme à la rigidité des portes.

On a également relié les morceaux isolés du bracon par une bande de fer qui les rend solidaires et empêche que, heurtés par un bateau, ils ne se déplacent. En tendant convenablement cette bande de fer on réalise une liaison qui est de nature à combattre le gauchissement du vantail sous l'effort du balancier, quand on ouvre l'écluse.

On peut regretter pour ces portes, comme pour celles de Saint-Quentin, que les embrèvements du bracon affaiblissent les entretoises précisément au milieu de la portée, c'est-à-dire là où est le travail le plus fort ; néanmoins elles sont bonnes et se manœuvrent bien. Leurs entretoises sont inégalement espacées sans que la variation soit très sensible. Elles n'ont coûté que de cent à cent dix francs le mètre carré, mais le bois a été choisi avec moins de soin qu'au canal de Saint-Quentin, et n'a été payé que cent quatre-vingt-seize francs le mètre cube ; aussi la durée est-elle moindre. Pour la même qualité de bois, on arriverait à cent vingt ou cent trente francs le mètre carré, c'est-à-dire au même prix, sauf une légère diminution tenant à la suppression des ferrures.

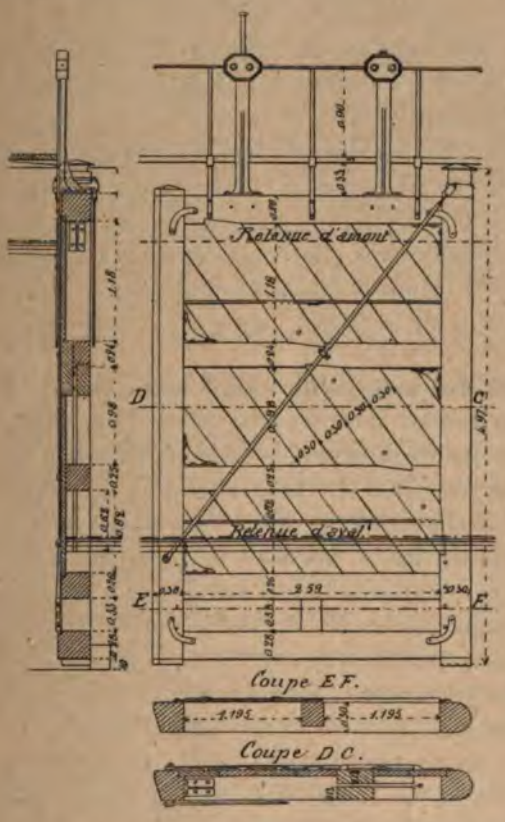
D'après M. l'inspecteur général Cambuzat, qui a fait de nombreuses expériences comparatives sur les portes d'écluse au canal du Nivernais, il est possible d'arriver pour ce genre de portes ($5^m,20$ d'ouverture) au prix de cent dix francs le mètre carré. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1868, 2e semestre.)

496. Portes du canal de l'Est. — Les portes du canal de l'Est desservent des écluses du même ordre et sont, au fond, du même genre ; mais la différence avec les deux types précédents s'accentue.

D'abord, le balancier se supprime et la porte n'a plus que la hauteur du bajoyer.

PORTES DU CANAL DE L'EST

Coupe transversale. Elévation d'aval.



Echelle de 0m,013 par mètre.

La dernière entretoise est très rapprochée de la traverse inférieure du cadre, les autres s'espacent de plus en plus en allant de bas en haut.

Le bracon est semblable à ceux que nous avons vus, mais il est nécessairement un peu plus oblique puisque la porte, arasée au niveau des bajoyers, est moins haute.

Nous y trouvons les écoinçons et les boulons traversiers ; et à cette double précaution s'en joint une troisième, l'écharpe en fer qui, entre le haut du tourillon et le bas du busqué, s'oppose à la déformation du vantail par abaissement de ce dernier. Ainsi il y a double consolidation diagonale, l'une par le bracon, travaillant à la compression, l'autre par l'écharpe travaillant à l'extension. Ce double travail est-il toujours concordant ? Il est permis de penser que, s'il est concordant au début, le bois s'altérant plus vite que le fer, la charge que soutient l'écharpe doit aller sans cesse en augmentant.

Ici, pas de vannes à jalousie, mais deux orifices placés tout au bas de la porte et fermés par des ventelles pleines.

497. Portes mixtes du canal de la Marne au Rhin. — Un certain nombre d'écluses du canal de la Marne au Rhin présentent une disposition spéciale qu'il est bon de connaître.

Sur une carcasse en bois analogue à celles dont nous venons de parler, on a fixé, du côté d'amont, une vaste plaque de tôle remplaçant le bordage et reliée au cadre et aux entretoises par des vis à bois et des boulons ; sur le côté d'aval, de fortes équerres en fer, à double coude, rattachent les entretoises aux deux poteaux, et partout où ces ferrures d'aval se trouvent en face des ferrures d'amont un boulon serre le tout contre le bois, entre sa tête et son écrou.

Quant à la liaison diagonale, elle se trouve assurée sur l'une des faces par le bordé rigide en tôle inextensible dans tous les sens, et sur l'autre face par une écharpe analogue à celles qui se trouvent dans les portes du canal de l'Est.

Il ne nous semble pas douteux que des portes de ce genre, bien construites, n'aient, quand elles sont neuves, des qualités précieuses ; mais on peut se demander si leur durée répond à l'incontestable accroissement de prix qu'elles représentent. En

secondlieu le cadre perforé par de nombreuses ferrures sur des lignes parallèles aux fibres n'éprouve-t-il pas, de ce fait, un affaiblissement en force et en durée ? Ce sont des objections qu'il est permis de se faire et pour lesquelles nous n'avons pas de réponse. Quelle que soit d'ailleurs cette réponse, le système ne s'est pas généralisé.

Agrandissons notre échelle, et des portes de canal passons aux portes de rivière, c'est-à-dire de 7 mètres d'ouverture et plus.

498. Portes de l'Oise. — Commençons par les portes de l'Oise dont les vantaux ont $4^m,75$ de longueur. L'échantillon des bois s'élève, les poteaux tourillon et busqué passent à l'équarrissage de $0^m,40$ et de $0^m,45$; sur cinq pièces horizontales, trois ont $0^m,35$ sur $0^m,35$, deux seulement n'ont que $0^m,30$ sur $0^m,30$. Le bordage est diagonal et de cinq centimètres d'épaisseur.

Deux entretoises sont reliées aux poteaux par des écoinçons en fonte, les trois autres par des liens en fer qu'assujettissent des boulons.

Comme liaison diagonale, on a placé le bracon et l'écharpe, précaution bien justifiée, car le bracon prend une obliquité telle que ses assemblages sont encore moins sûrs que ceux des portes plus étroites, dans toutes les parties, au moins, exposées à des alternatives de sec et d'humide.

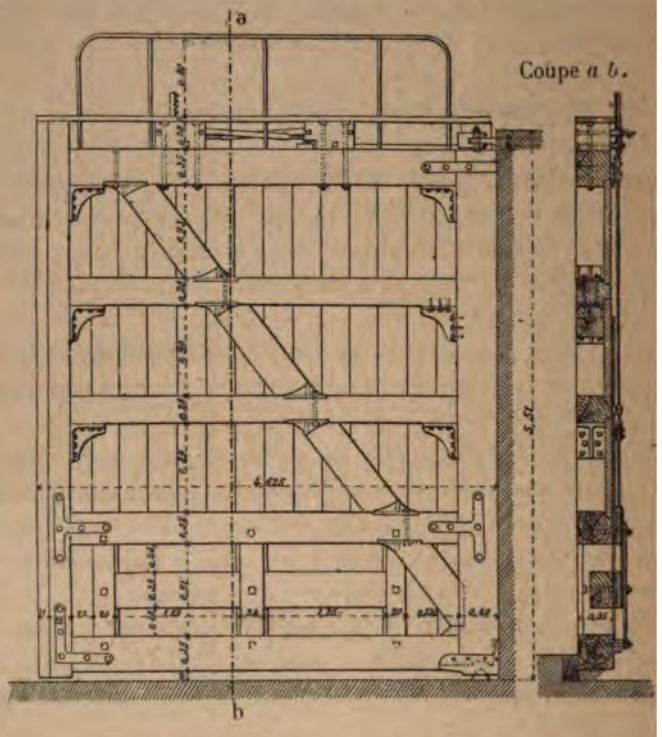
Les entretoises sont à peu près également espacées ; les ventelles sont à jalousie et le prix est d'environ cent à cent dix francs par mètre carré. Ces portes sont économiques et font un bon service.

499. Portes en bois de la Marne. — Sur la Marne, en restant dans les mêmes dimensions et dans les portes en bois, nous trouvons, sans trop nous écarter du même ordre d'idées, quelques modifications importantes.

Le bordage, d'abord, devient vertical et discontinu, c'est-à-dire s'étend simplement d'une pièce horizontale à l'autre, comme pour diminuer le plus possible la solidarité que créent cependant les deux poteaux et la raideur des assemblages.

V. 1469 Porte de canal sur chaîne
P 149

Comme liaison diagonale résistant à la compression bracon reste seul. Il se compose d'une pièce unique sépa par tronçons qui correspondent aux intervalles des entreto et s'appuient sur celles-ci par l'intermédiaires de sabots fonte, fixés deux à deux par des boulons à l'entretoise qu embrassent. Une écharpe en fer, travaillant à l'extension, s'



pose comme le bracon à ce que, le poteau busqué s'affaiss la porte donne du nez.

On peut se demander si la discontinuité du bordage a avantages autres que de permettre de se rendre un peu mi compte de ce que supporte chaque entretoise. Il est cer que dans un assemblage destiné à se manœuvrer tout d pièce, la solidarité ne peut être qu'une bonne chose et tou qui la diminue semble *a priori* devoir s'éviter. Quant au bra cette succession de tronçons séparés exige, pour fonctio

comme une seule pièce, une précision d'assemblage qu'il est bien difficile de réaliser d'abord, et de maintenir ensuite. Il est donc probable qu'au bout de très peu de temps, sinon dès l'origine, l'écharpe doit porter tout. Pourquoi dès lors créer des assemblages qui affaiblissent les bois et empêchent l'air, le goudron ou la peinture de protéger les surfaces en contact? On n'en voit pas la nécessité.

Ces portes néanmoins ont fait un assez bon service; elles ont coûté cent deux francs le mètre carré, à une époque où les prix étaient plus bas qu'aujourd'hui. L'estimation actuelle les porterait au moins à cent vingt-cinq francs.

500. Portes en fer de la Marne. — Nous rencontrons encore sur la Marne des portes métalliques fermant des écluses de 7m,80 d'ouverture, dont quelques-unes, celles de Charenton et de Neuilly, à très forte chute (4 à 5 mètres). Ce que nous allons dire se rapporte à l'écluse de Charenton, construite en 1864 et dont une expérience déjà longue a permis de reconnaître les qualités. (*Annales des Ponts et chaussées*, 1865, 1er semestre.) Elles se composent :

D'un cadre en double T, large de 0m,30, constitué en tôle de 9 millimètres bordée de cornières de 9 centimètres de côté;

De dix entretoises horizontales, de même largeur et de même forme, dans lesquelles la tôle n'a que 8 millimètres, et les cornières 6 centimètres de côté;

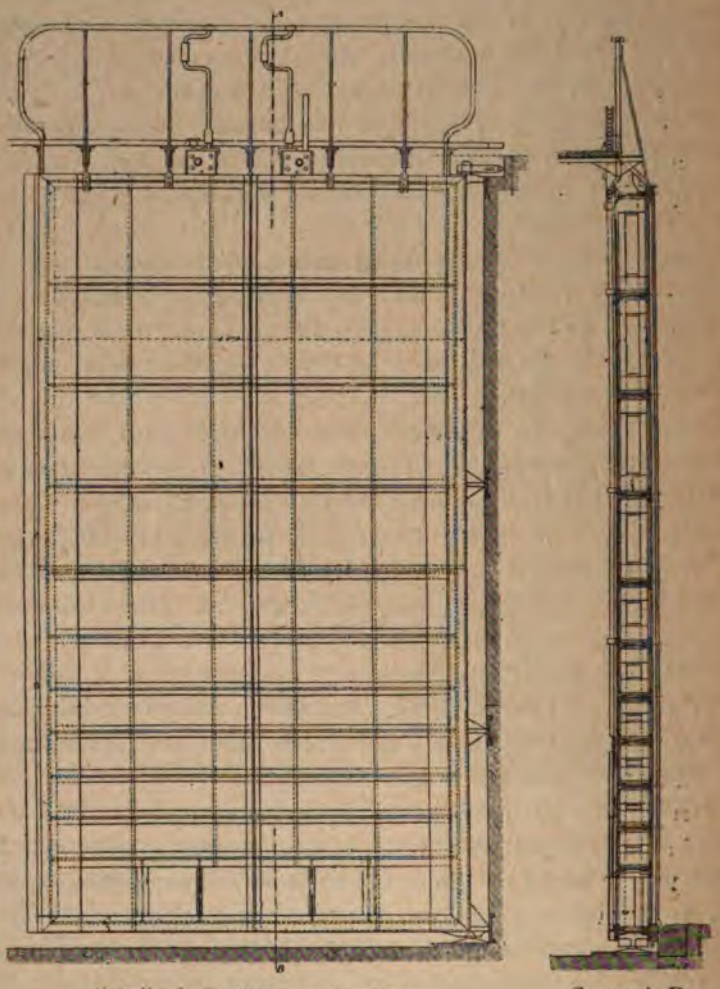
D'un bordage formé de cinq feuilles de tôle de 4 millimètres posées verticalement, et rivées entre elles, ainsi qu'au cadre et aux entretoises sur la face amont.

On voit de suite la grande rigidité que présente un pareil système. Ce bordé métallique, invariable dans le sens vertical, préserve la porte de toute déformation dans ce sens, et supprime le bracon, l'écharpe, les équerres et les écoinçons. Il a pour pièces symétriques du côté d'aval deux larges feuilles de tôle appliquées près des poteaux et un fer à T central, qui rendent les entretoises solidaires sur les deux côtés de la porte, et préservent ainsi celle-ci du gauchissement qu'elle pourrait éprouver sous les efforts horizontaux.

Les entretoises, très nombreuses et de même force, sont

PORTES EN FER DE LA MARNE

Écluse de Charenton.



Échelle de 0m,013 pour 1 mètre. Coupe A B.

espacées de façon à correspondre à des pressions d'eau identiques, sauf modifications résultant de l'introduction dans le système de ventelles en bas et d'une entretoise supérieure en haut.

Le poteau busqué et le poteau tourillon n'ont plus la forme ronde ; ce sont de simples poutres en double T, dont l'une, celle qui remplace le poteau tourillon, supporte des disques auxquels sont fixés la crapaudine, le pivot supérieur, et même deux autres disques d'appui qui reportent sur le bajoyer la poussée exercée par les deux vantaux agissant l'un sur l'autre. L'autre poteau se termine par une pièce de bois amenée à la coupe du poteau busqué.

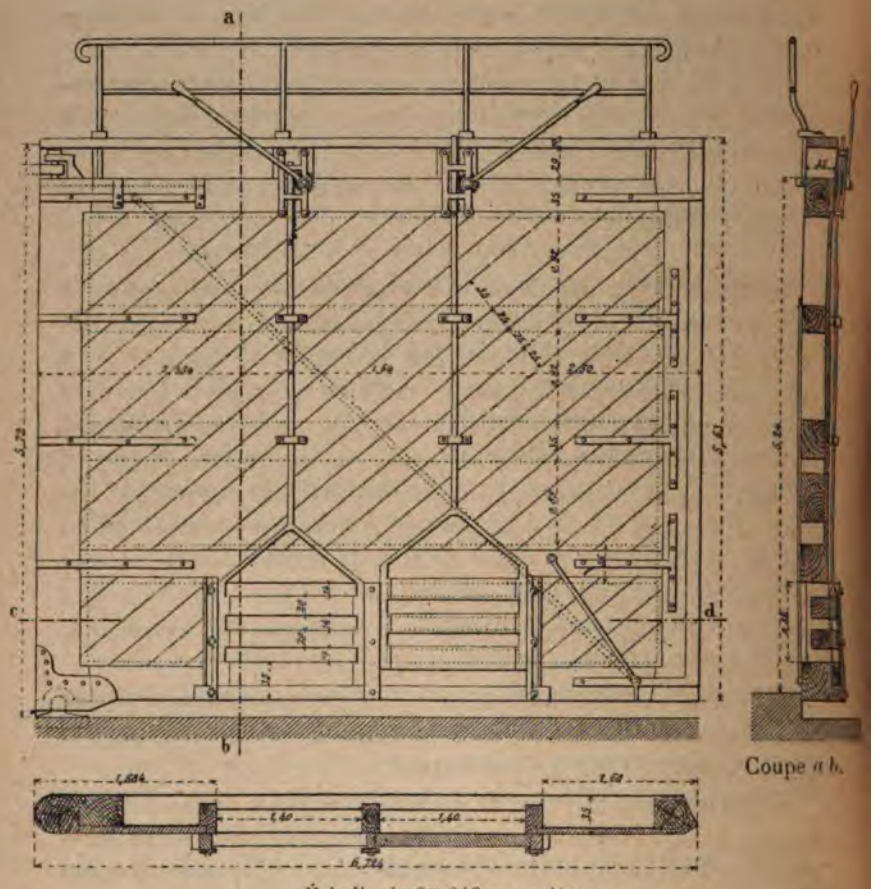
Des fourrures en bois s'interposent également entre la porte et les maçonneries tout le long du bajoyer et du busc, en sorte que partout la fermeture s'opère avec bois sur bois ou bois sur pierre, ce qui permet un ajustage sur place aussi soigné qu'on peut le désirer.

Ces portes, qui se manœuvrent aisément, qui sont très rigides, très résistantes, ont coûté, d'après M. Malézieux, cent quatre-vingt-dix-huit francs le mètre carré. Elles sont en fer et, par suite, vraisemblablement plus durables que des portes en bois, qui dans le système des portes de Saint-Quentin auraient coûté, d'après M. Lermoyez, cent-six francs le mètre carré.

Dans quel délai se produira l'usure des portes de ce genre ? c'est ce qu'il est bien difficile de prévoir, faute d'expériences suffisantes. Le fer, surtout quand il est entretenu avec soin, est un métal susceptible d'une longue conservation ; mais il est permis de dire que les conditions qu'il rencontre dans les portes d'écluse, toujours exposées à des alternatives de sec et d'humide, toujours soumises à des forces variables, ne sont pas favorables.

C'est ainsi que le bordage, alternativement pressé par l'eau, puis abandonné à lui-même quand le niveau s'est rétabli, prend successivement une forme bombée et plate, dans les mailles que dessinent les entretoises. Encastré qu'il est, d'ailleurs, sur chacune de ces pièces, il se déforme avec peine dans l'intervalle qui les sépare, et revient à sa position aussitôt qu'il le

PORTES DE LA MEUSE BELGE



Coupe *a b*.

Échelle de 0m,013 par mètre.

tache à la traverse inférieure. Observons en passant que cet assemblage n'est pas triangulaire et peut présenter, par l'usure, une articulation à la partie supérieure, près du poteau tourillon. La liaison créée par l'écharpe perdrait alors de sa valeur ; il est vrai que le bracon et le bordage parallèles, solidaires et compris entre deux rainures qui les limitent, offrent à la compression une résistance sur laquelle, dans les premiers temps au moins, on a le droit de compter.

Le prix, par mètre carré de surface, est de cent quatre-vingt-dix-neuf francs, mais on suppose les bois payés trois cent quarante-cinq francs le mètre cube. Au prix de deux cents francs le mètre cube, celui du mètre carré s'abaisserait à cent soixante francs.

502. Portes de Port-à-l'Anglais. — Les portes de l'écluse de Port-à-l'Anglais pour une même ouverture présentent d'autres dispositions. Les pièces de charpente sont à peu près du même échantillon, mais on ne compte plus que deux entretoises intermédiaires au lieu de trois. Le bracon très incliné et par tronçons s'appuie sur des sabots en fonte ; le bordage en madriers de 5 centimètres est vertical et discontinu ; quant à l'écharpe, elle relie la traverse supérieure au bas du busqué, triangulant ainsi non l'angle que la charge tend le plus à ouvrir, mais celui qui lui est diagonalement opposé. On vient un peu en aide à la solidarité du système par quelques écoinçons et quelques équerres.

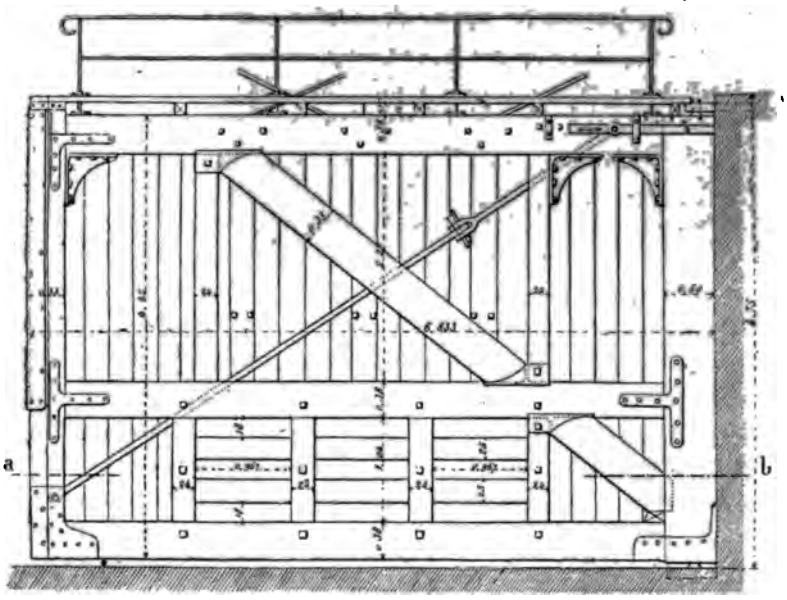
La porte est interrompue près du busc pour laisser passer une chaîne de touage, et trois ventelles à jalousie occupent la partie inférieure de chaque vantail.

Ainsi conçue, la porte de Port-à-l'Anglais a fléchi. L'insuffisance s'est révélée à la première entretoise au-dessous de la traverse supérieure. On a tenté de consolider cette pièce en l'armant d'une forte feuille de tôle serrée par des vis à bois contre la face supérieure de l'entretoise, et devant travailler comme elle à la flexion. Mais la différence d'élasticité du bois et de la tôle n'a pas tardé à amener une disjonction; la porte cédant encore, il a fallu changer de système.

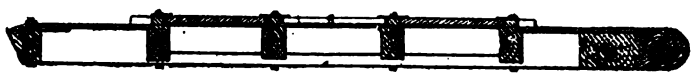
On a serré alors les pièces horizontales entre des éclisses

PORTES DE LA HAUTE-SEINE

Élévation.



Coupe *ab*.



Échelle de $0^{m},013$ par mètre.

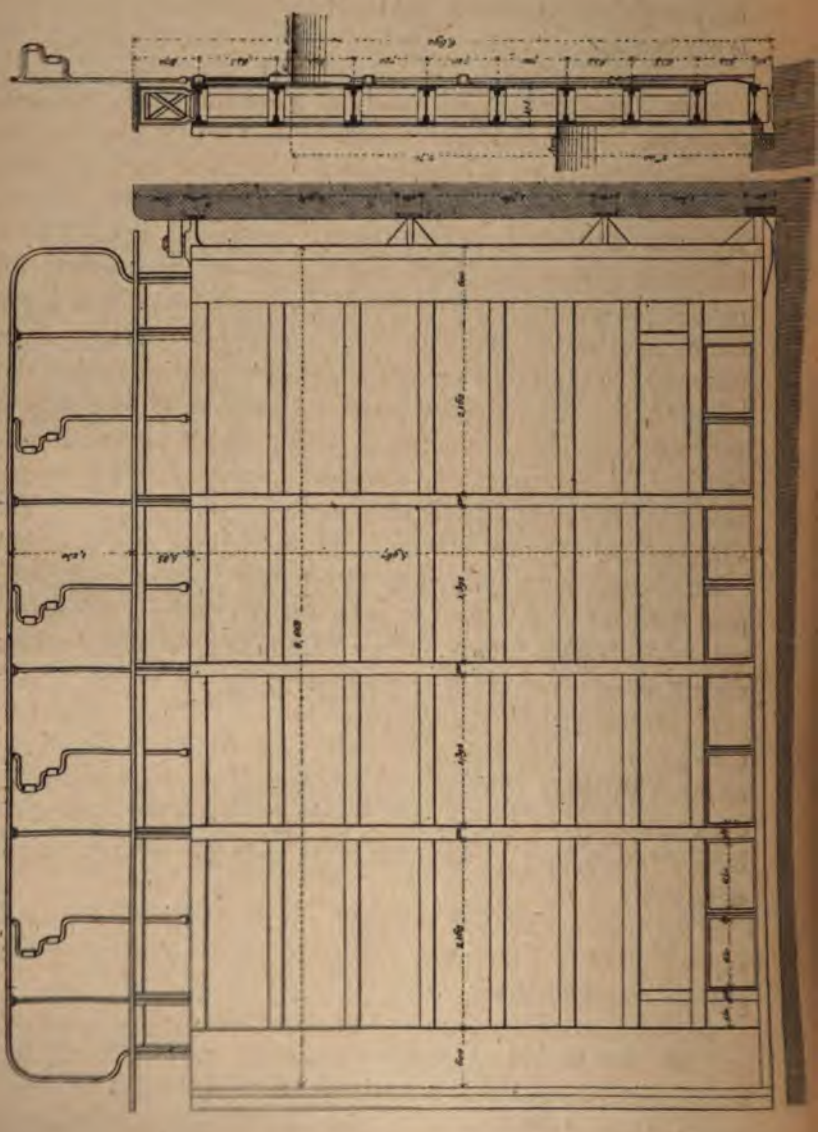
verticales destinées à les rendre solidaires. On a ainsi soulagé l'entretoise la plus chargée et reporté la pression sur le busc et les autres entretoises, ce qui était le véritable remède. En d'autres termes, on a donné à la porte la roideur dans le sens vertical qui était nécessaire à sa résistance et dont sa construction primitive la privait.

503. Portes de la haute Seine. — Sur la haute Seine, toujours pour l'ouverture de 12 mètres, le nombre d'entretoises diminue encore, et se réduit à une seule. C'est le même système, du reste, mais les chutes sont un peu moins fortes qu'à Port-à-l'Anglais; en sorte que ce système a fonctionné et fonctionne encore d'une manière assez satisfaisante, sans atteindre toutefois la durée des vantaux en bois dont nous avons parlé au début.

504. Portes de la Saône. — Terminons cette énumération par l'examen des portes de l'écluse de Couzon sur la Saône, qui, pour une ouverture de 16 mètres, comportent deux vantaux de $8^m,70$ de long sur $5^m,90$ de haut. Ces portes sont en tôle, sans bracon et sans écharpe, composées uniquement d'un cadre et de sept entretoises d'égale force, inégalement espacées. Ces entretoises ont la forme d'un double T de 45 centimètres de hauteur; elles sont reliées du côté d'amont par un bordage en tôle de 10 millimètres, et du côté d'aval par deux larges feuilles de tôle voisines des poteaux, ainsi que par trois bandes verticales réparties sur la largeur du vantail.

Ce sont des portes du même genre que celles de Charenton, avec cette différence que l'échantillon des fers est unique, et que les dimensions sont de beaucoup supérieures. La chute qu'elles rachètent est de $2^m,70$ (voir à la page suivante).

505. Diversité absolue des types. — Si, dans cet ensemble de types divers, on cherche à démêler une règle commune, on n'en discerne aucune. Les matériaux employés, le système de construction, le mode de liaison des vantaux, la façon même dont la pression se répartit sur eux, tout est discutable et discuté. Le choix, par suite, est bien difficile, et



PORTES DE LA SAONE

il y a une véritable témérité à afficher, en pareille matière, une préférence nette et précise. Nous essaierons de montrer où nous semble être la vérité, tout prêt à reconnaître notre erreur, le cas échéant.

506. Qualités que doivent présenter les portes d'écluse. — Quelles sont, d'abord, les qualités que doivent présenter des portes d'écluse pour être réputées bonnes? Cette question est la première qui se présente, car la solidité, le prix, la facilité de manœuvre, sont autant d'éléments divers dont il faut tenir compte, en choisissant le mode de construction. On ne doit pas perdre de vue, non plus, que cet engin, d'un fonctionnement assez compliqué, est en outre noyé dans sa partie inférieure, à sec dans sa partie supérieure, et exposé dans son milieu à des alternatives de sec et d'humide. D' où l'on peu conclure que l'usure modifiera promptement les conditions initiales de résistance, si l'entretien des pièces principales au moins n'est pas facile. C'est donc encore là une qualité qui s'impose, sous peine de voir diminuer la durée de l'ouvrage.

En somme, nous pensons que des portes d'écluse ont besoin, pour faire un bon usage, de présenter les qualités suivantes, qui sont classées plutôt en vue de faciliter notre discussion ultérieure, que par ordre de préférence :

1° Être étanches. Ce n'est pas là une absolue nécessité; néanmoins, si l'on tient compte de la pénurie d'eau qui se fait sentir, l'été, dans nos canaux, on désirera que l'alimentation, cette ressource précieuse, demeure toujours à la disposition de la navigation, et n'ait d'emploi commandé que celui qu'on lui assigne ;

2° Se manœuvrer vite et facilement. Il est inutile d'insister sur ce point qui intéresse vivement les voies navigables à grande fréquentation ;

3° Être rigides dans le sens vertical, afin de ne pas s'abaisser et « donner du nez », c'est-à-dire frotter sur le radier. Cette avarie est une des plus fréquentes ; elle entraîne une usure rapide, quand elle ne cause pas une interruption dans les manœuvres;

4° Être roides dans tous les sens, c'est-à-dire fonctionner

comme une seule pièce afin de présenter une résistance suffisante à la déformation, sous les efforts opposés que subit chaque vantail, soit en charge, soit pendant les manœuvres. Cette roideur générale importe à un haut degré, si l'on veut éviter de fatiguer les assemblages ;

5° S'entretenir aisément, pour demeurer le plus longtemps possible dans les hypothèses initiales ;

6° Résister dans les conditions les plus sûres et les plus économiques à la principale des forces qui agissent sur les portes, c'est-à-dire à la poussée de l'eau quand elles sont en charge.

Tel est le programme que l'on peut se proposer, croyons-nous ; nous allons en suivre les données une à une, en indiquant quel est, à notre sens, le système à adopter pour que l'ouvrage soit, en somme, le moins défectueux possible.

507. Étanchéité du vantail. — L'étanchéité du vantail est à considérer à deux points de vue ; il faut l'assurer sur le vantail lui-même et sur le joint qui, pendant que la porte est en charge, règne sur le chardonnet, sur le busc, et le long du poteau busqué, à la jonction des deux vantaux.

L'étanchéité propre du vantail s'obtient aisément au moyen du bordage, lequel, soit en tôle, soit en madriers à joints calfatés, forme un panneau qui s'appuie sur la carcasse de la porte. Le bordage en bois est économique et se renouvelle facilement, sans qu'il soit besoin d'ouvriers spéciaux, il souffre mieux les chocs et les coups de gaffe que le bordage métallique. Ce dernier a d'ailleurs, comme nous l'avons déjà indiqué, des chances spéciales de destruction. Son remplacement, s'il doit s'opérer en grand et à la suite d'une usure générale, est un travail difficile que supporte mal la carcasse, qu'elle soit en fer ou même en bois, puisque dans ce cas les anciens trous des tire-fonds gêneront la pose des nouveaux. De cet ensemble de faits il résulte que, s'il ne s'agissait que d'obtenir l'étanchéité nécessaire à une porte d'écluse, l'emploi du bois serait préférable ; toutefois la question demeure réservée en raison du rôle important qu'à d'autres points de vue le bordage doit remplir.

508. Étanchéité du pourtour du vantail. — Quant à la précision du joint qui entoure chaque vantail, elle ne peut s'obtenir que par un ajustage soigné ; or, quelque soin que l'on apporte à ses tracés, on ne peut espérer une entière similitude des surfaces à faire coïncider, et le seul moyen d'arriver à un bon contact, c'est de composer ces surfaces de substances aisées à dresser.

Quand la porte est en bois, il suffit de laisser les pièces un peu trop fortes, et d'y noyer assez profondément les ferrures, pour devenir maître de l'ajustage.

Quand la porte est en fer, on a soin de la disposer de telle sorte qu'elle puisse porter une fourrure en bois au droit du bajoyer, du busc et du poteau busqué ; et l'on retombe alors dans le cas précédent. Un bon calfatage assure d'ailleurs l'adhérence complète de la fourrure au vantail, en même temps que d'énergiques liaisons, principalement au poteau busqué, rendent les deux pièces solidaires.

Chaque vantail, ainsi préparé, est mis en place dans l'enclave des portes et rendu mobile sur son axe de rotation ; on l'approche isolément du busc et des maçonneries et l'on dresse sa face aval au contact, sans se préoccuper du poteau busqué.

Quand les deux vantaux sont ainsi dressés isolément, on les rapproche et on rabote les deux faces des poteaux busqués qui doivent coïncider, jusqu'à ce que le contact intime soit réalisé dans ce joint en même temps que dans les autres.

Si le busc est en pierre d'une grande dureté, en granite par exemple, il n'est pas impossible de faire buter directement le bas de la porte contre la partie des voussoirs formant saillie ; mais quand cette portion de la construction est en calcaire, on a toujours à craindre que quelque corps étranger, serré entre la porte et le busc, ne détermine la rupture d'une des pierres, avarie toujours grave, puisqu'elle est invisible. On scelle alors sur les voussoirs, préparés *ad hoc*, un faux busc en bois, et c'est sur cette pièce que s'opère le joint avec la porte, joint qui n'en devient que plus facile à dresser.

Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que ce faux busc est un danger lui-même, en ce sens que s'il se déplace le bon fonctionnement de la porte devient impossible. C'est un des

accidents qui se présentent le plus souvent et qui motivent le plus de chômages, car il est impossible de le réparer sans chômage. On s'attachera donc avec un soin extrême à ce que les scellements soient parfaitement sûrs et maintiennent bien la pièce, soit dans le sens horizontal, soit dans le sens vertical. On aura soin de garnir le joint qui sépare le faux busc du busc de substances imputrescibles, assez fortes pour arrêter le passage de l'eau, assez molles pour ne pas faire arracher les scellements, lesquels n'ont jamais, on le sait, qu'une solidité relative. Sous ce rapport le cuir, le suif et le goudron jouent un rôle très important ; il n'est pas inutile de rappeler que le suif, très fortement comprimé et maintenu à la température que possède l'eau des rivières et des canaux, acquiert la durée de certains bois et peut rendre de nombreux services en matière d'étanchement.

Quant au bois du faux busc, on ne saurait apporter assez de soin à le choisir. A défaut de cœur de chêne sans défaut, il faut avoir recours aux bois exotiques et veiller surtout à la pointe du busc, car c'est toujours dans l'assemblage qu'on trouve habituellement là que commence le mal. Aussi, s'il est possible de se procurer un morceau unique dans lequel on taillera la pointe, il sera sage d'en profiter. Les deux côtés de cet angle seront ensuite continués en bon bois rectiligne jusqu'aux bajoyers, et un assemblage soigné maintiendra, sur chaque côté, la parfaite continuité des surfaces destinées au contact du vantail.

L'usage de fourrures en bois exceptionnellement bon est du reste, si commode qu'il pourrait s'étendre jusqu'aux portes en bois. Il arrive, en effet, que le manque de fortes pièces de chêne absolument exemptes de défaut, ou même la difficulté de reconnaître certains défauts dans une pièce d'apparence saine, amènent quelquefois une décomposition locale qui se traduit le long des vantaux par des fuites peu dangereuses, il est vrai, mais qu'il vaudrait mieux éviter. Ne serait-il pas plus simple alors de remplacer une fourrure défectueuse que de changer un poteau? Ou, si on l'aime mieux, ne serait-il pas plus facile de donner une qualité exceptionnelle aux fourrures qu'aux parties les plus puissantes de la car-

La servitude qui résulte aujourd'hui de l'impossibilité où l'on se trouve de laisser le moindre aubier, sur les faces en contact, oblige souvent à renoncer à de beaux bois de faible échantillon et de droit fil, pour tailler des morceaux moins résistants dans des pièces plus volumineuses et refendues. Au point de vue de la solidité et de la durée, ce n'est pas un avantage.

Quoi qu'il en soit de ce détail, il n'en est pas moins établi que l'étanchéité des portes d'écluse est facile à assurer, et sous ce rapport aucune discussion ne saurait avoir lieu sur les moyens à employer.

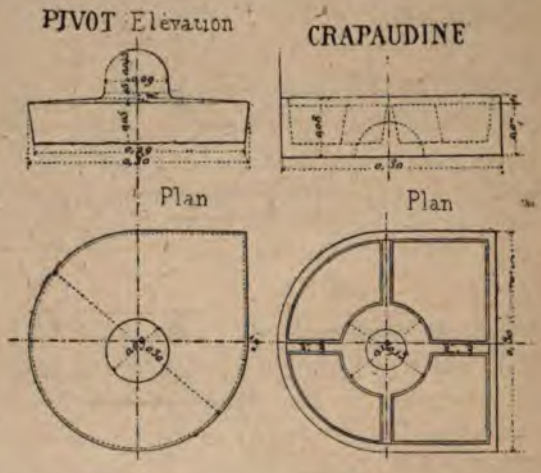
509. Facilité de manœuvre des portes. — La facilité de manœuvre dépend principalement des organes sur lesquels tourne la porte pour se déplacer. Ces organes sont la crapaudine et le pivot qui supportent le poteau tourillon, et le collier qui, à la partie supérieure de la même pièce, dirige le mouvement.

510. Pivot et Crapaudine. — Le pivot est une pièce fixe scellée au radier, présentant une partie saillante de $0^m,07$ à $0^m,10$ qui se termine par une demi-sphère de $0^m,09$ à $0^m,12$ de rayon. Ce mamelon est supporté par une masse de fonte dont il fait partie et qui reporte le poids du vantail sur la pierre dite Bourdonnière. Celle-ci, à son tour, le répartit sur les maçonneries de fondation, ce qui explique pourquoi on lui donne de fortes dimensions, et on rapproche autant que faire se peut le pivot de son centre de figure. Quant à la forme de la base de pivot, elle est justifiée par la nécessité d'un scellement solide, empêchant la pièce de tourner.

Sur le mamelon vient se placer la crapaudine qui coiffe le pivot par un segment de sphère creuse d'un diamètre de deux à trois centimètres supérieur au diamètre de la sphère saillante. Cette surface rentrante est venue de fonte dans un massif de $0^m,08$ à $0^m,10$ de hauteur, évidé à sa partie supérieure pour recevoir la base du poteau tourillon, lequel s'y engage ainsi de quelques centimètres. La position fixe qu'imposent au poteau le voisinage des maçonneries et l'attache du collier

justifient, dans une certaine mesure, cette faiblesse d'attache, mais nous avouons que nos préférences sont pour une liaison plus intime, qui s'obtient aisément à l'aide de boulons si la porte est en métal, à l'aide d'un manchon en tôle si le poteau est en bois. On a alors bien plus de sécurité, dans le cas de choc ou de tendance au déplacement sous une cause accidentelle.

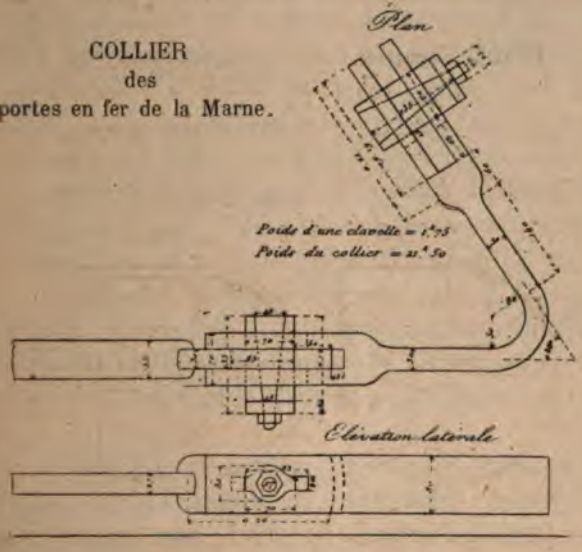
Le centre de rotation du vantail n'est pas placé au centre de figure du poteau tourillon, fourrure comprise ; il est plus



rapproché de la face d'amont que de la face d'aval. Il résulte de cette excentricité, qui ne peut être que de $0^m,01$, que la porte dans sa rotation se sépare partout à la fois du chardonnet, tandis que si l'axe de rotation et l'axe de figure coïncidaient il pourrait y avoir frottement au départ. Il est à remarquer que cette disposition est favorable à l'équilibre en ce que, la partie amont étant plus lourde que la partie aval, l'excentricité rapproche l'axe de suspension du plan vertical passant par le centre de gravité.

511. Axe supérieur et Collier. — Les organes inférieurs ainsi disposés, il reste à diriger le mouvement par la partie supérieure. Pour y arriver, le poteau tourillon reçoit à sa partie haute, et à l'aplomb précis du pivot inférieur, un axe vertical

qu'embrasse un collier fixé aux maçonneries ; c'est en tournant dans ce collier et sur le pivot que le vantail décrit sa révolution. Parfois le poteau tourillon s'arrondit pour constituer lui-même l'axe supérieur ; mais, quelle que soit la disposition adoptée, il est évident que le mouvement est d'autant plus facile que la ligne qui joint le centre du pivot au centre du collier est plus rigoureusement verticale. Si cet axe de révolution est incliné, le mouvement accompli amène un déplacement en



COLLIER
des
portes en fer de la Marne.

hauteur du centre de gravité du vantail qui, indépendamment des frottements, entraîne une difficulté de manœuvre dans certaines positions.

Les colliers ont les formes les plus diverses. Souvent, ce n'est qu'un morceau de fer replié suivant le rayon de courbure de la pièce enveloppée, et dont les deux extrémités s'attachent à deux branches solidement scellées aux maçonneries par de longs boulons verticaux. Parfois aussi c'est un cercle complet et ajusté, se liant comme le collier précédent aux branches de scellement, lesquelles prennent des directions voisines des positions extrêmes du vantail. La forme importe peu, du reste, pourvu que l'axe soit bien à sa place, et la so-

lidité suffisante. Rien de plus aisé que de se rendre compte de la résistance de cette pièce, qui est simplement sollicitée par le poids du vantail. Ce poids doit être compté dans l'air, car il faut que la porte soit posée et ajustée à sec.

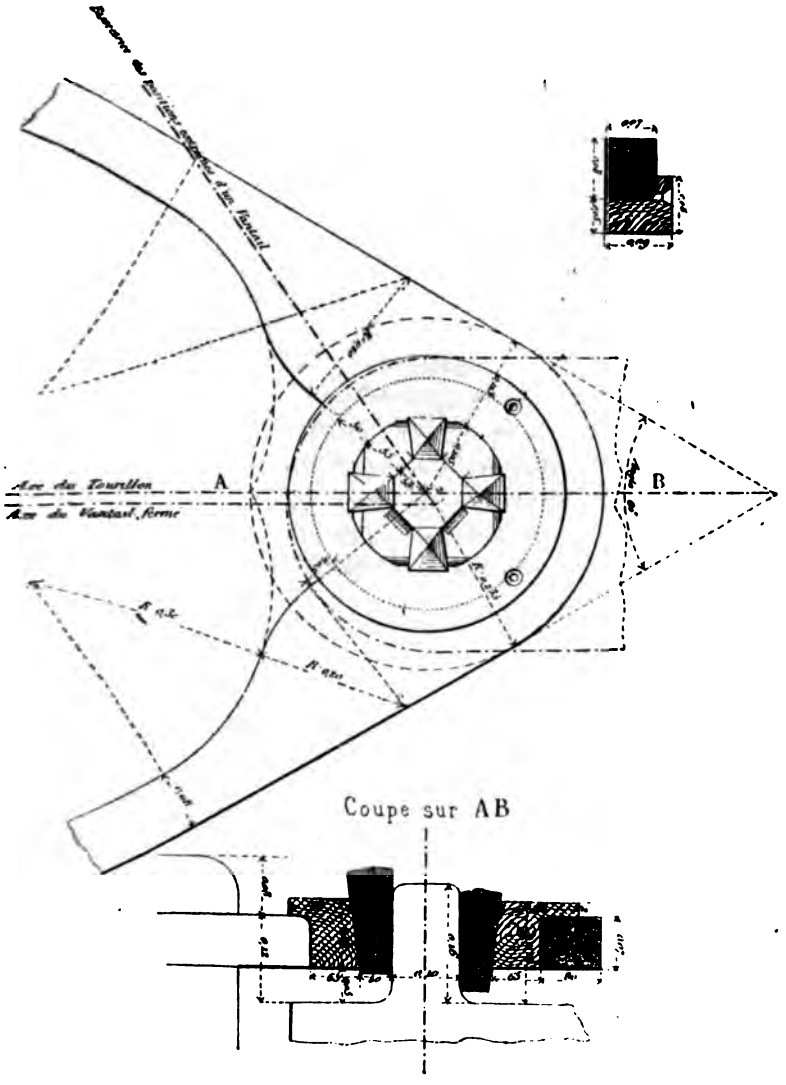
Il sera désormais très utile, en l'absence de chômages périodiques, que les colliers s'ouvrent ou s'enlèvent à volonté, pour que l'on puisse à tout moment changer un vantail défectueux, ou l'enlever pour le restaurer, puisqu'il sera devenu impossible de le réparer sur place.

Dans cet ordre d'idées, la place du collier nous paraît être au sommet des bajoyers, sur la plate-forme même de l'écluse. Le plus souvent jusqu'ici les attaches des colliers étaient noyées dans les maçonneries au-dessous du couronnement, parce que le collier était considéré comme une pièce fixe qu'on n'aurait jamais à déplacer. Si, exceptionnellement, le besoin de ce déplacement se faisait sentir, le chômage était assez long pour permettre la démolition et la reconstruction des maçonneries. Il n'en sera plus de même désormais, et comme d'ailleurs il vaut toujours mieux, en principe, voir et entretenir les organes de résistance que de les laisser cachés, nous sommes d'avis de placer le collier sur le terre-plein de l'écluse.

Nous pensons en outre qu'on gagnera toujours en précision et en facilité de manœuvre, en posant le pivot d'abord, puis le collier juste à l'aplomb du pivot, pour ensuite mettre le vantail en place, de façon que son axe supérieur soit forcément au centre du collier. Dans les portes en bois, on en vient facilement à bout en taillant le poteau à la demande du collier. Dans les portes métalliques, il suffit de se laisser un certain jeu qu'on peut racheter par un manchon et des clavettes, ajustées à la demande du vantail. Cette disposition a été adoptée à l'écluse d'Ablon, sur la Seine; un collier analogue fixe aussi les portes métalliques du canal de l'Aisne à la Marne.

512. Engins de manœuvre des vantaux. — Le vantail ainsi placé et bien d'aplomb, on n'a plus à vaincre que les frottements et la résistance de l'eau au déplacement, sous l'action

COLLIER DES PORTES DE L'ÉCLUSE D'ABLON (SEINE)



Nous nous résumerons donc, en ce qui concerne la facilité de manœuvre, en disant qu'il faut la rechercher :

Dans un pivot inférieur en fonte ou en acier, parfaitement travaillé, et s'emboîtant avec une crapaudine bien polie et bien sphérique ;

Dans un pivot supérieur placé absolument sur la même verticale que le pivot inférieur et tournant à frottement doux dans le collier sur des surfaces bien lubrifiées ;

Dans l'équilibre le meilleur du vantail pour diminuer les frottements,

Et qu'il faut alors, pour éviter les abus, réduire les engins de manœuvre à leur minimun de force, en adoptant les plus simples, et en les ramenant à l'action directe de l'homme partout où faire se peut.

513. Remplissage et vidange du sas. — A la facilité de manœuvre se rattachent indirectement le remplissage et la vidange du sas, dans les meilleures conditions de promptitude et de commodité. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les bateaux qui font la navigation intérieure sont parfois peu solides, chargés outre mesure, et munis le plus souvent d'agrès défectueux. La sécurité absolue dont ils jouissent sur les canaux, en temps normal, ne justifie pas, mais excuse cet état de choses. Quoi qu'il en soit, si l'écoulement de l'eau dans le sas, par suite d'une très forte émission, devient tumultueux, il en résulte des oscillations de toute la masse capables de compromettre à la fois le bateau et les portes sur lesquelles il peut se trouver lancé. Il serait donc à désirer que l'écoulement s'effectuât par des orifices un peu étroits, tant que la vitesse est très grande, et par de larges ouvertures quand la chute arrive à disparaître. C'est là le principal avantage des grands aqueducs placés dans les bajoyers et dont nous avons parlé en même temps que de la construction des écluses. Ces aqueducs permettent d'agrandir la section d'écoulement à mesure que la vitesse s'efface et d'atténuer ainsi une des causes de retard du passage aux écluses, cause dont il ne faut cependant pas s'exagérer l'importance.

Il résulte, en effet, de nombreuses expériences faites, que

le remplissage et la vidange du sas ne sont pas la partie importante du temps consacré à une éclusée.

Sur les canaux, avec des écluses de $5^m,20$ de largeur et de $38^m,50$ de longueur utile, pour des chutes de 2 à 3 mètres, la durée du remplissage ou de la vidange du sas varie de deux à quatre minutes par opération, suivant la dimension adoptée pour les ventelles. Il est difficile, d'ailleurs, de faire quatre éclusées par heure, le plus souvent on est forcé de s'en tenir à trois, et la simple comparaison de ces chiffres montre que l'importance de l'opération hydraulique proprement dite, quant à sa durée, est loin d'être prépondérante.

Sur la Marne, où les écluses ont $7^m,80$ de largeur, 47 m[illegible] de longueur utile, et des chutes analogues aux précédentes, on fait par heure deux éclusées, trois au plus, alors que [illegible]a durée de l'écoulement pour chaque opération n'excède pas [illegible]x minutes.

Aux grandes écluses de la Seine (12^m de largeur, 18[illegible] de longueur, même chute) le remplissage du sas dure dix m[illegible]i-nutes et l'éclusée complète prend une heure.

Il y a donc plus à gagner en rapidité à faciliter l'approc[illegible]e et le départ des bateaux, leur prompt amarrage et leur rapi[illegible]e éloignement de l'entrée de l'écluse, qu'à accélérer le rempli[illegible]s-sage et la vidange du sas au delà de ce qui se pratique aujour[illegible] d'hui, sur les voies à grande fréquentation.

Encore devons-nous faire observer que, pour arriver aux moyennes que nous avons indiquées, on est obligé de passer par des variations de vitesse très considérables. Au début, alors que la charge a toute sa force, l'écoulement est nécessairement tumultueux et le sas très agité ; l'eau y monte avec une grande rapidité : au contraire, à la fin de l'opération les derniers décimètres à gagner se font longuement attendre. Il s'ensuit un sentiment d'impatience très naturel qui se traduit par des tentatives d'ouverture des portes malgré quelques millimètres de chute, tentatives toujours violentes et qui ont pour effet d'imposer au vantail une torsion, en sens inverse de la résistance en vue de laquelle il a été construit.

Le mieux, à notre sens, est de disposer de grands orifices d'écoulement, mais de n'en user que progressivement, à me-

élevée pour que le jet qu'elle fournit gêne les bateaux qui s'éclusent. On obtient ce résultat en les plaçant toujours au-dessous du niveau du bief d'aval, et en leur donnant, là, lorsque les écluses sont grandes et fréquentées, toute l'extension que comporte le système de construction adopté. Rien ne s'opposerait, d'ailleurs, à ce que de nouvelles ventelles fussent démasquées pour le remplissage à mesure que le niveau s'élève dans le sas, pourvu qu'aucun orifice ne s'ouvre avant d'être noyé.

VOIE NAVIGABLE	Ouverture totale.	Nombre d'orifices.	Moyenne
Écluses de 5 = 20			
Canal de Saint-Quentin	1=12	6	1=10
Canal de Roanne à Digoin	0,90	2	
Canal de l'Est	1,60	4	
Canal de la Marne au Rhin	0,80	2	
Écluses de 7=80.			
Oise canalisée	1=80	6	1,76
Marne canalisée	1,40	4	
Canal Saint-Maurice (Charenton)	2,00	4	
Écluses de 12=00.			
Meuse-Belge	2=35	12	2,69
Haute Seine	3,10	18	
Écluse de 16=00.			
La Saône	4=90	16	4,90

La manœuvre des ventelles s'effectue d'une passerelle adaptée en porte-à-faux à la partie supérieure de la porte. Le mode

l'attache de cette passerelle, à laquelle on donne de 0m,50 à m,60, dépend de la construction de la partie supérieure de la orte, et n'a qu'un besoin, être assez solide pour servir de oint d'appui aux engins de manœuvre.

515. Rigidité des portes dans le sens vertical. — Les portes d'écluse, par le genre d'effort qu'elles soutiennent et reportent sur les maçonneries et sur elles-mêmes, ont été forcément composées d'éléments résistants, tantôt horizontaux et tantôt verticaux. Il en résulte pour elles des assemblages carrés, et, par cela même, de déformation facile. Ces assemblages carrés sont d'ailleurs soumis à deux efforts dans le sens vertical, l'un ascendant dû à la sous-pression quand l'écluse est en charge, l'autre descendant dû au poids de la porte, et qui s'exerce en sens contraire quand les vantaux sont dans une eau en équilibre.

La sous-pression, très considérable parfois dans les portes à la mer, peut se négliger dans les écluses de navigation intérieure, telles que la pratique les a consacrées jusqu'ici. Nous ne nous en occuperons pas, parce que l'expérience montre que les portes des rivières et canaux tendent toujours à donner du nez, lorsque leurs liaisons sont insuffisantes ou s'affaiblissent. Elles arrivent alors, avec le temps, à frotter sur le radier, et le frottement est en pareil cas si dur, si cahoteux, que toute porte qui touche doit être immédiatement relevée ou remplacée.

516. Consolidations carrées. — Pour éviter la déformation de l'assemblage carré, on a recours, nous l'avons vu, à des écoinçons en fonte, à des équerres en fer et à des boulons traversiers. Les écoinçons en fonte, placés précisément aux angles, seraient une liaison très réelle s'ils n'étaient pas fixés le plus souvent par des vis à bois, qui avec le temps jouent dans leur trou. Les équerres en fer sont généralement, d'un échantillon trop faible pour que l'on puisse y compter sérieusement, lorsque le bois est arrivé à s'user autour des boulons qui les traversent. Enfin, l'un et l'autre système ont le tort d'être placés à l'origine de l'angle à

consolider, de telle sorte qu'un millimètre de jeu, obtenu par compression du bois ou usure du fer, permet à l'autre extrémité de la pièce un jeu beaucoup plus fort. La durée du système est donc au moins douteuse.

Les boulons traversiers sont d'un effet plus durable ; inextensibles, susceptibles d'être resserrés quand besoin est, ils se prêtent moins à une déformation qui ne peut s'accomplir qu'avec une augmentation de longueur. Néanmoins leur tête peut s'incruster dans le bois, elle peut être arrachée par l'effet de levier qui se produit en pareil cas; et ces boulons qui sont, d'ailleurs, d'excellents auxiliaires pour l'assemblage, seraient insuffisants s'ils étaient seuls.

517. Consolidations triangulaires. — Bracon. — Echarpes. — Aussi a-t-on recours à la véritable liaison invariable, à la liaison triangulaire, par l'emploi d'un bracon ou d'une écharpe.

Le bracon est une pièce de bois qui unit le pied du tourillon à l'extrémité de l'entretoise supérieure; et qui résiste par compression, au point même où a lieu la déformation *maxima*.

L'écharpe est une pièce de fer qui unit le sommet du tourillon à l'extrémité de l'entretoise inférieure ; et qui, par sa résistance à l'extension, s'oppose à la descente de cette entretoise, en son point d'abaissement maximum.

D'un côté et de l'autre, c'est un assemblage rationnel, simple, et qui porte le remède là où est le mal. Examinons-les l'un après l'autre.

Le bracon, en résistant à la compression, transmet cette compression aux fibres des bois sur lesquels il s'appuie; et, ce qui est le plus grave, il le leur transmet en s'y appuyant obliquement, ce qui facilite la pénétration des fibres. Si pour y remédier on emploie des sabots en fonte, on prive d'air les surfaces en contact; et la qualité du bois s'altérant plus rapidement, l'effet du bracon est moins durable. Au bout de quelque temps, le bracon joue entre les entretoises ; c'est ce que l'on peut constater, sur nombre de portes qui ne sont encore qu'à demi usées.

Cette compression, d'ailleurs, est d'autant plus énergique

que le bracon est plus oblique, c'est-à-dire plus nécessaire. Cette pièce, en outre, pour s'assembler avec les entretoises, les affaiblit, alors même qu'on se sert de sabots, en raison des déchirures qu'occasionnent les vis et les boulons. Elle s'affaiblit elle-même de ses découpures et de ses nombreux abouts ; en sorte qu'au point de vue de la tendance à donner du nez, on peut dire que le bracon est un remède efficace, mais d'autant moins sûr et d'autant moins durable que la largeur de la porte est plus grande.

On ne saurait en dire autant de l'écharpe qui peut être uniforme dans toute sa longueur, et d'une section suffisante pour résister à la tension qu'elle subit, quelle que soit cette tension. Seulement il faut observer que cette pièce, aussi, reporte à de certaines parties du vantail la tension qui lui est imposée, et que ces parties doivent être armées en conséquence. Ainsi, rattacher une ou deux écharpes à un boulon placé dans le haut et à un boulon dans le bas, c'est s'exposer à ce que, le jour où le boulon aura pris du jeu dans son trou, la tête se courbe, se ronge, et n'ait plus la force de résister à la tension.

En adoptant comme moyen de consolidation une pièce de fer, qui ne s'usera pas sensiblement pendant que le bois se détériorera, il faut nécessairement admettre qu'un jour arrivera où l'écharpe portera tout. Ce jour-là, il faudra qu'elle ne manque ni par elle-même, ni par son point d'attache; à ce point de vue, ce qu'il y a de mieux à faire, à notre avis, c'est de mettre un chapeau en fonte ou en tôle sur le tourillon, un sabot au pied du poteau busqué, et de réunir ces deux pièces par deux bandes de tôle, solides et bien rivées, qui, sur chaque face, maintiendront invariable l'angle au sommet duquel est la crapaudine.

Avec ce soin, et en ne faisant travailler le fer que dans les limites de son élasticité, il est inutile d'avoir des vis ou des clés de serrage qui compliquent la construction, y introduisent des points faibles, et se rouillent assez vite pour que, le plus souvent, il soit fort difficile de les manœuvrer. Le chapeau et le sabot, l'un toujours à sec, l'autre toujours noyé, ne sont pas un obstacle à la conservation des bois; on peut même dire que

c'est le contraire qui aura lieu, si l'on a le soin, en ce qui concerne le chapeau du tourillon, de bien goudronner l'intérieur de façon à ce que l'humidité ne puisse y pénétrer.

De ce qui précède, nous concluons que, pour donner aux portes une rigidité suffisante dans le sens vertical :

Le bracon suffit pour les portes ayant 5m,20 d'ouverture, surtout si l'on a le soin de lui venir en aide par un bordage disposé parallèlement au bracon et encastré entre des rainures qui le font travailler à la compression en même temps que la pièce principale. La durée de cette rigidité sera, d'ailleurs, d'autant mieux assurée que le vantail sera plus constamment comprimé par des boulons traversiers.

Pour les portes des écluses de 7m,80, le bracon prend une inclinaison suffisante pour que la duré des assemblages soit moindre. Il faut dès lors introduire l'écharpe et la constituer comme si elle devait être seule à résister.

Pour les portes de 12 mètres et au-dessus, il ne faut compter que sur l'écharpe, l'employer double (c'est-à-dire sur chaque face), lui donner assez de force pour qu'elle supporte le poids total du vantail, et la rattacher à deux solides sabots qui coiffent, l'un le dessus du tourillon, l'autre le dessous du busqué.

Pour les portes en fer revêtues d'un bordé en tôle continu, on n'a à se préoccuper ni de bracon, ni d'écharpe, puisque le bordé rivé à la carcasse joue à la fois le rôle de l'un et de l'autre. Ces portes, effectivement, ne donnent jamais du nez ; elles ne pourraient toutefois que gagner en durée, si leur face d'aval était munie d'une écharpe réunissant toutes les entretoises suivant la diagonale du vantail.

518. Flexion du vantail dans son plan. — Il est un autre genre de déformation dans le sens vertical que nous devons mentionner, bien qu'il soit beaucoup plus rare ; c'est celui qui résulterait de l'insuffisance du vantail pour résister, dans son plan, à la pression exercée sur lui par l'autre vantail. Considérons, en effet, le vantail comme une pièce appuyée sur son collier et sur sa crapaudine seulement, indépendante, par suite, du bajoyer dans tout l'espace qui sépare ses deux

appuis. Dans cette position, si elle n'est pas solidement entretoisée de façon à constituer une ferme bien reliée, il est évident qu'elle peut fléchir dans son plan. Or, cette flexion aurait des conséquences d'autant plus graves, que la poussée de l'eau, agissant dans un plan perpendiculaire, gauchirait les portes, et introduirait, par ce double effort, un nouvel élément de déformation des plus dangereux.

Cet effet est surtout susceptible de se produire dans les portes hautes et étroites. On y obvie, dès le principe, en donnant plus de force aux deux poteaux (tourillon et busqué) qui sont les pièces résistantes dans ce sens. On prévient complètement le mal, en appuyant le poteau tourillon contre les maçonneries à l'aide de pièces spéciales en fonte, qui ne butent pas pendant le mouvement, et qui sont, au contraire, au contact, lorsque les portes sont en charge.

519. Roideur générale des portes. — La roideur dont nous parlons ici n'est pas la résistance de la porte à la poussée de l'eau qui la charge, c'est la solidarité de toutes les parties, assez assurée pour que le vantail puisse être considérée comme un seul morceau de matière résistante, qu'on peut pousser ou tirer par un point quelconque, sans y faire naître de déformation sensible.

Cette roideur est très utile en pratique. D'abord, les portes se manœuvrent presque toujours par l'entretoise supérieure ; et l'effort qu'on y exerce tend à produire sur les assemblages une déformation opposée à celle que produit l'eau ; les joints sont donc sollicités alternativement en sens contraire, ce qui est la pire condition pour les ébranler.

En second lieu, la résistance de l'eau au mouvement du vantail, s'appliquant à la partie immergée quand la force motrice est au sommet, tend à produire un voilement également nuisible.

Enfin, si les vantaux pouvaient s'arquer par la flexion des deux poteaux busqués, il est évident que les portes se trouveraient dans une situation défavorable à leur résistance et à leur durée.

La roideur qui s'oppose à ces diverses déformations s'obtient

en augmentant l'épaisseur de la porte, en renfonçant le poteau busqué, afin qu'il ne fléchisse en aucun sens ; en donnant au bordage une résistance propre qui n'en fasse pas un simple revêtement, mais bien une armature, et en réunissant les entretoises par des liens verticaux qui ne permettent pas à l'une d'elles de se déformer sans déformer les autres. Cette précaution s'applique aux portes en tôle comme aux portes en bois. En ce qui concerne ces dernières, le bracon introduit une liaison diagonale des plus favorables à la roideur ; il en est de même du bordé oblique ; et cette raison milite puissamment pour la conservation de l'une et de l'autre disposition, même dans les cas où leur succès, comme résistance à l'abaissement du vantail, pourrait être contesté.

Observons encore que la roideur générale des vantaux est le meilleur préservatif contre la poussée qui résulte pour les maçonneries de l'appui réciproque que se prêtent les portes. Si ces portes étaient absolument invariables, appuyées qu'elles sont par le chardonnet et le busc, elles ne se comprimeraient pas réciproquement le long du bateau busqué. Ce n'est qu'en se voilant un peu qu'elles arrivent à se repousser ; et, plus elles se voilent (c'est-à-dire moins elles sont roides) plus la pression qu'elles se transmettent est forte, plus elles tendent à disloquer les maçonneries.

C'est là, à notre sens, un des avantages des portes métalliques, que leur mode de construction rend, pour ainsi dire, d'une seule pièce. Cette observation prend une importance spéciale lorsqu'il s'agit d'écluses en remblai, celles, par exemple qui suivent les ponts-aqueducs et ont à redouter pour leurs fondations tout excès de poussée à la partie supérieure des maçonneries.

520. Facilité d'entretien des portes. — L'entretien des portes d'écluses est une des sujétions auxquelles il faut le plus réfléchir pendant que le projet se rédige. Cette nécessité s'impose surtout au moment où, les chômages périodiques cessant, toutes les écluses ne pourront plus être passées en revue chaque année, et restaurées sur place. Examinons donc successivement les causes de détérioration des portes.

Pour les portes en bois, le principal danger se trouve aux assemblages. Le bois y est découpé, moins résistant par suite, soumis, en cas de déformation, à des torsions qui le font fendre, et enfin plus exposé qu'ailleurs à la pourriture. De là, déjà, on peut conclure que moins une porte a d'assemblages, moins les pièces sont affaiblies et plus la durée doit être grande; d'où suit qu'il vaut mieux, au point de vue de l'entretien, se servir de quelques pièces de bois fortes et de droit fil que de répartir le même cube en un plus grand nombre d'éléments.

Pour les constructions métalliques, on ne peut plus dire que l'assemblage soit le point faible; il dépend du constructeur d'en faire une des parties les plus solides, et ce n'est pas un des moindres avantages du système. Toutefois, pour d'autres motifs, la conclusion précédente n'en est pas moins vraie. L'usure, en effet, dans les portes en fer c'est l'oxydation du métal, laquelle, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à la surface exposée. Il suit de là que si, dans un temps donné, une tôle de 10 se détériore sur 1 millimètre à sa surface, elle perd 1/5 de sa puissance, tandis qu'une tôle de 4 soumise au même régime en perdra la moitié. Il est donc utile de diminuer le nombre des pièces en rendant chacune d'elles plus résistante.

Ces pièces résistantes seront placées d'une façon aussi avantageuse que possible, si elles demeurent accessibles et visibles en tout temps, car la surveillance en sera plus sûre et la réparation plus aisée. Or, si la construction ne doit pas en souffrir, il sera, à ce point de vue, tout à fait opportun de prendre pour élément principal de résistance les entretoises placées au-dessus du bief d'aval; et parmi celles-là, surtout, l'entretoise supérieure que l'on peut d'habitude, à un moment quelconque, par une très légère variation du niveau du bief d'amont, mettre tout à fait hors de l'eau.

Si l'on se reporte à ce que nous avons dit plus haut sur le rôle respectif de la carcasse des portes et de leur bordé, on sera amené, pour obtenir une carcasse solide, durable, indéformable, à choisir la tôle qui se prête aux assemblages les plus rigides et aux meilleurs contre-ventements, en même

temps qu'elle assure une très longue durée; au contraire, pour le bordé, qui a besoin d'une étanchéité facile à maintenir et d'une élasticité constante, on le composera de madriers en bois, plus ou moins épais, suivant l'espace à franchir d'un bord à l'autre du panneau qu'ils ferment. Ces madriers seront fixés par des boulons à la carcasse et un calfatage assurera leur étanchéité. On les changera, comme on les change aux portes en bois, sans avoir à toucher aux bâtis qui les supporte.

On reviendra ainsi, avec chance de succès, à l'un des systèmes adoptés jadis par MM. Poirée et Jullien qui avaient construit des portes analogues en fonte et bois; ces portes ont imparfaitement réussi, il est vrai, mais la faute en est aux dangers inhérents à l'emploi de la fonte; quant à l'idée première, qui est d'appliquer le métal à la résistance et le bois à l'étanchéité, puis de renouveler l'un plusieurs fois pendant la durée de l'autre, elle est foncièrement juste, et il fallait bien qu'il en fût ainsi pour avoir été adoptée par des esprits aussi pratiques et aussi éminents.

L'absence de chômages périodiques obligera souvent à enlever les portes de leurs enclaves pour les nettoyer, les gratter, les goudronner, ou même les changer. Il sera utile que leurs divers organes soient autant que possible d'un type et d'une dimension uniforme, pour faciliter les remplacements. On ne perdra pas de vue, d'ailleurs, que l'enlèvement d'un vantail présente toujours quelques dangers, non à cause de son poids que l'on peut apprécier et soutenir, mais à cause des déformations qui peuvent naître aux points d'attache, sous ces mêmes poids. On s'efforcera de les prévenir, en adaptant aux organes principaux, localement renforcés si c'est nécessaire, tout un système d'attache, sûr et partout le même.

En résumé, l'entretien facile des portes s'obtiendra :

1° En réduisant le plus possible la quantité de pièces et d'assemblages, pour ne se servir que d'un petit nombre d'éléments plus puissants ;

2° En plaçant, autant que faire se peut, les pièces capitales, au point de vue de la résistance, dans la partie de la porte toujours accessible et visible ;

3° En prévoyant, dès le début, les moyens de réparation et de changement des vantaux ;

4° En composant la carcasse d'éléments rigides et durables, et en facilitant au contraire le remplacement du bordé.

521. Résistance à la poussée de l'eau. — Il nous reste à étudier la manière de constituer les portes d'écluse de façon à résister à la plus puissante des forces qui agissent sur elles, la poussée de l'eau, tout en tenant compte des conditions que nous avons déjà fait connaître à propos de la facilité de manœuvrage et d'entretien.

Rendons-nous compte, d'abord, de l'action exercée par l'eau sur un vantail, quand la porte est en charge.

Si ce vantail était composé d'éléments horizontaux superposés et non solidaires, chacun de ces éléments recevrait une pression égale au poids d'un prisme d'eau ayant pour base sa face amont, et pour hauteur la distance qui sépare son centre de figure du niveau de l'eau.

Si la porte était composée au contraire d'éléments verticaux juxtaposés et distincts, chaque élément serait chargé comme l'est l'aiguille d'un barrage ; il reporterait la pression à la partie supérieure et il suffirait, là, de placer une poutre susceptible de résister à une charge uniformément répartie, qu'il est aisé de calculer.

Toutefois, ces deux fictions ne se réalisent pas séparément ; les nécessités de la construction et du fonctionnement amènent, au contraire, une fusion des deux systèmes. Les éléments horizontaux et verticaux se trouvent non seulement liés ensemble, mais encore subissent l'influence d'un point fixe, le seuil, qui empêche tout déplacement de la partie inférieure de la porte.

Il en résulte que la pression de l'eau, plus forte en réalité sur les pièces inférieures, est reportée par les éléments verticaux sur les pièces supérieures. Cette transmission est d'autant plus énergique que la roideur dans le sens vertical est plus forte ; et, en somme, ce n'est pas le bas du vantail qui se trouve le plus exposé à des chances de rupture.

M. l'inspecteur général Chevallier, dans un mémoire qui

figure aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1850 (1er semestre), a étudié la question expérimentalement et analytiquement. Il est arrivé à cette conclusion : que dans une porte d'écluse de roideur ordinaire, si l'on se sert d'entretoises de force égale, il vaut mieux, au point de vue de la résistance, les espacer également que les disposer suivant une loi d'écartement inversement proportionnelle à la pression exercée par l'eau.

M. l'ingénieur en chef Lavoinne (*Annales* de 1867, 1er semestre), reprenant la question sur les expériences mêmes de M. Chevalier, a donné une théorie fort intéressante des vantaux à entretoises horizontales égales et équidistantes. Il a démontré que si l'on veut former un cadre dans lequel chaque pièce concoure, de la manière la plus convenable, à la résistance commune, il faut renforcer le système des pièces horizontales par un système vertical, dans lequel le bordage entre naturellement comme élément de force. La roideur des deux systèmes doit être dans un rapport déterminé, variable avec les données du problème.

Il semble donc acquis qu'il y a avantage à se servir d'entretoises équidistantes, à la condition de les rendre solidaires dans une mesure que l'on peut évaluer.

Toutefois, il y a là un choix entre deux manières de faire, plutôt qu'une détermination précise des éléments de résistance. On est naturellement amené à se demander si la répartition de cette résistance, entre des pièces plus ou moins fortes n'est pas susceptible elle-même de certaines préférences. La théorie admet, d'ailleurs, que les entretoises sont toutes de force égale, ce qui peut être rendu vrai lorsque l'on construit la porte, mais cesse de l'être dès que l'usure s'est fait sentir. On ne peut espérer, en effet, la même durée pour des pièces soumises à des conditions différentes de travail, d'état physique, et de facilités d'entretien. Or, quand un vantail souffre, il faut bien rattacher les pièces ébranlées à celles qui sont solides, et alors on sort complètement des hypothèses qui ont servi à la rédaction du projet.

522. Expériences sur les déformations des vantaux. — Nous avons cherché à faire faire un pas à la question, en nous basant sur des expériences qui nous ont paru concluantes, et qui sont, d'ailleurs, d'une simplicité telle que tout le monde peut les renouveler.

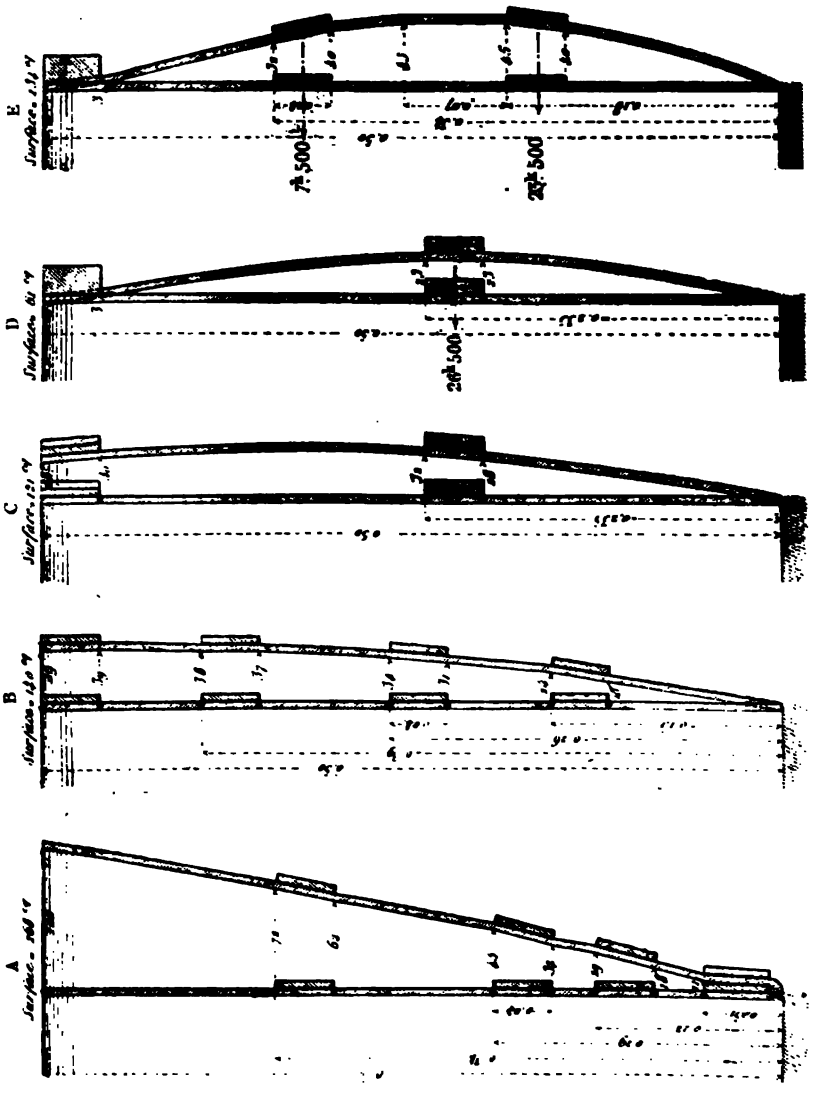
Nous avons assimilé, au point de vue de la résistance spéciale que nous étudions en ce moment, chaque vantail à un rectangle appuyé par le bas ainsi que par ses deux côtés verticaux, libre par le haut, et recevant, par la paroi d'amont, une pression d'eau égale à sa hauteur. Il nous a semblé qu'en faisant varier la position des pièces appelées à soutenir ce rectangle, tout en y maintenant la même pression, on pourrait juger, par l'amplitude des déformations obtenues dans chaque cas, de la position plus ou moins heureusement choisie de ces soutiens qui joueraient le rôle de la carcasse des portes.

Pour réaliser cette expérience, nous avons employé un bassin carré, dans l'une des faces verticales duquel existait une baie rectangulaire, placée à la partie supérieure. Cette baie a été fermée par une membrane en caoutchouc, très mince et très élastique, formée de deux feuilles juxtaposées. Le caoutchouc, dans la limite des flexions qui se sont développées sous la charge d'eau observée, n'était susceptible de fournir aucune résistance auxiliaire appréciable.

Entre les deux feuilles, nous avons placé, l'une à côté de l'autre et verticalement, de simples règles en poirier de $0^m,005$ d'épaisseur, de la hauteur de la baie, sur toute sa largeur. Ces règles représentaient les bordages d'une porte d'écluse, et apportaient au diaphragme pressé par l'eau, la roideur dans le sens vertical que reçoit le vantail des divers éléments verticaux qui entrent dans sa composition.

Restait à soutenir ce diaphragme, devenu plus rigide, mais encore incapable de toute résistance à la poussée de l'eau, par des pièces horizontales appuyées sur les côtés verticaux de la baie, comme les entretoises s'appuient sur les poteaux busqués et tourillon. Nous y avons pourvu à l'aide d'autres règles en bois, très flexibles et suffisamment faibles pour que leurs déformations fussent très sensibles. En faisant varier la place respective de ces mêmes règles, les déformations changeaient, et permettaient ainsi de reconnaître la dis-

Expériences sur la déformation des vantaux.



position qui, par une déformation minima, témoignait d'une résistance maxima.

Il ne faut certainement pas songer à établir entre ces deux ordres d'idées une proportionnalité qui n'existe pas ; mais, bien que la loi qui les relie ne soit pas précisée, il est permis de dire que plus la porte se déforme moins elle est résistante ; on en conclut alors le sens dans lequel on doit marcher pour placer le plus avantageusement possible les matériaux résistants dont on dispose.

Les figures ci-contre représentent, pour cinq répartitions différentes des entretoises, la quantité dont a marché, sous la pression de l'eau, la ligne verticale occupant le milieu du diaphragme. Dans chaque figure sont juxtaposées la position avant la mise en charge et la position après le déplacement obtenu par la poussée du liquide. La comparaison fera reconnaître les faits suivants :

Le maximum de déformation a lieu quand les entretoises (fig. A) sont espacées en raison inverse de la pression de l'eau ;

L'espacement égal des entretoises, la première étant à la surface de l'eau (fig. B), amène une amélioration très sensible ;

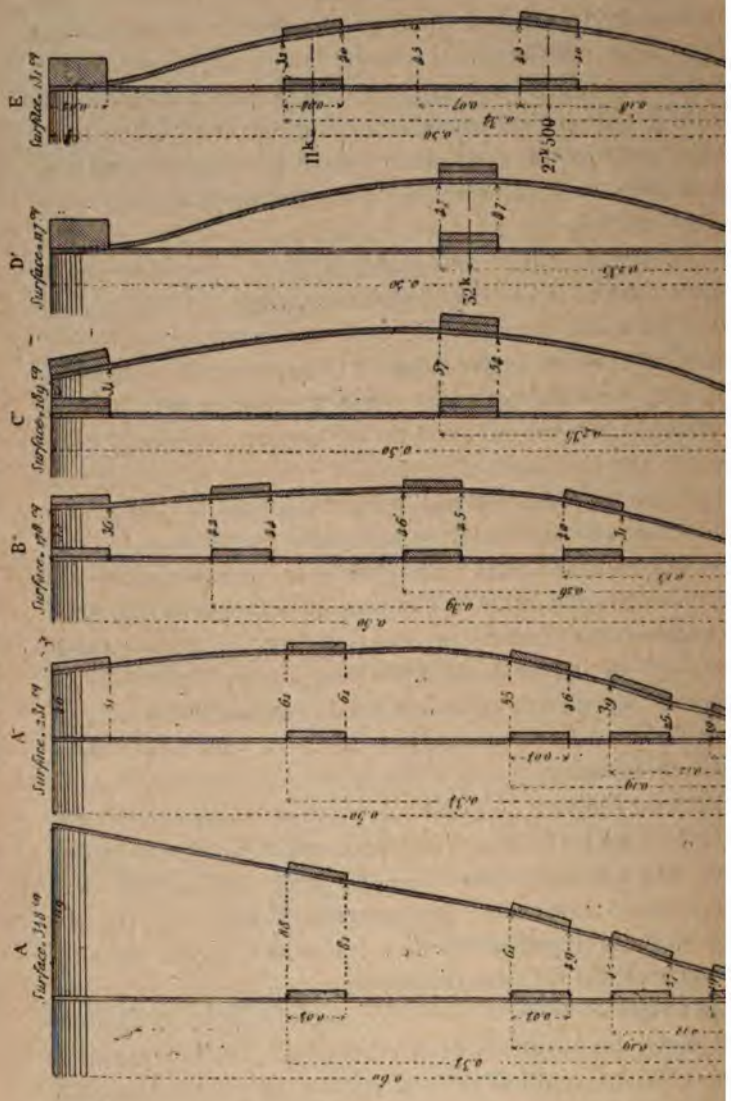
On gagne encore (fig. C) en réunissant les quatre entretoises deux à deux pour placer les unes à la partie supérieure, les autres vers le centre de pression, un peu au-dessous du milieu.

Si, à l'aide d'une solide pièce (fig. D), on fixe le haut du vantail, en laissant les deux pièces du milieu réunies, la déformation se réduit à ce point que le bombement n'est plus, en surface, que les 23 centièmes de ce qu'il était au début.

Enfin, si au lieu de réunir les deux pièces du milieu, on les sépare pour en faire des entretoises équidistantes, le bombement double immédiatement. Il y a donc intérêt à grouper les résistances plutôt qu'à les disséminer.

Nous avons cherché à mesurer directement l'effort que devaient ainsi déployer les deux entretoises médianes, suivant qu'elles étaient réunies ou séparées. Pour y arriver, nous avons appuyé ces entretoises sur des arcs-boutants que tenaient en place des poids d'intensité variable, et nous avons fait varier ces poids jusqu'à ce que nous ayons obtenu une absence complète de déformation sous la charge d'eau uniforme qui

Répartition des efforts dans un vantail. Seconde série d'expériences.



a servi à toutes les expériences. Il a suffi de 26 k.500 pour soutenir les entretoises réunies, tandis qu'il a fallu 30 k. 500 pour soutenir les mêmes pièces séparées. Il y avait donc avantage à les réunir.

Il n'était pas inutile de rechercher si l'influence de la roideur verticale n'était pas susceptible de modifier ce résultat. Pour y arriver, nous avons recommencé les expériences en substituant aux règles verticales de 0m,005 d'épaisseur d'autres règles de 0m,025 seulement. En d'autres termes, nous avons réduit de moitié l'épaisseur du bordage. Les croquis des pages 78 et 80 rendent compte des résultats obtenus.

Sous l'influence d'un espacement des quatre entretoises, en raison inverse de la pression de l'eau, la surface de bombement qui, dans la première série d'expériences, était de 268 centim.carrés, est devenue de 368 centim. carrés (fig. A′).

Si, pour corriger cette déformation considérable, on place une entretoise supplémentaire à la surface même de l'eau, l'aire du bombement se réduit à 231 centimètres carrés (fig. A″).

Si les quatre entretoises primitives sont uniformément réparties, on n'arrive plus qu'à 178 centimètres carrés (fig. B″).

En groupant ces entretoises deux à deux, la déformation augmente légèrement et devient 189 cent. carrés (fig. C′). C'est là une anomalie que nous croyons être le résultat de la fatigue des pièces. Nous la citons néanmoins pour être exact dans notre compte rendu.

Mais en fixant le haut par une pièce solide, nous retombons dans les effets déjà obtenus. La déformation avec deux entretoises réunies est représentée par 117 cent. carrés ; elle devient 131 cent. carrés avec les entretoises séparées (fig. D′ et E′). Et si nous cherchons l'effort nécessaire à l'empêcher, cet effort devient 32 kil. dans le premier cas, 38 kil. 500 dans le second.

Ces expériences, faites le 21 février 1879 avec le concours de MM. les Ingénieurs Lavollée et Kleine, avaient été précédées d'autres essais du même genre, qui nous avaient amené à reconnaître, une année auparavant, que la meilleure disposition est celle qui accumule la résistance en haut et un peu au-dessous du milieu du vantail.

Nous sommes ainsi ramenés à une des conditions que la facilité de l'entretien nous avait déjà conduit à demander, c'est-à-dire à la concentration de la puissance dans des pièces accessibles et visibles. La partie supérieure de la porte remplit toujours cette condition, et le milieu est presque constamment au-dessus du niveau du bief d'aval.

Une troisième considération nous pousse encore dans le même sens. Une des éventualités avec lesquelles il faut le plus compter, c'est la possibilité d'un choc de bateau. Or où se fera ce choc? Ce sera un peu au-dessus de la flottaison des deux biefs, c'est-à-dire vers le haut et vers le milieu, d'où suit l'utilité de placer sur ces deux points les parties les plus solides du vantail.

De tous les côtés, nous arrivons donc à cette règle que la pratique a démêlée depuis longtemps, et qui est connue des maîtres charpentiers ayant souvent construit et réparé des portes d'écluse : « Faites un bon cadre, consolidez bien le milieu, vous serez toujours maîtres du reste ».

523. Détermination des dimensions des pièces. — Reste à voir maintenant dans quelle mesure le principe qui vient d'être posé peut s'appliquer à la détermination des dimensions de la porte. Nous allons montrer comment on peut y arriver, à notre avis, en procédant par des *maxima*.

La première question qui se présente est celle-ci : Quelle dimension convient-il de donner à l'entretoise supérieure, que nous supposerons placée au niveau du bief d'amont, le bief d'aval étant à sec, pour plus de simplicité.

Cette pièce, ainsi que nous l'avons vu, est celle qu'on peut le mieux consolider, soutenir, renouveler même, et il est logique d'en faire le point de départ de la résistance. Elle est mieux placée que les autres entretoises, puisqu'elle est la plus éloignée du point fixe, le seuil ; et il est évident que nous parerons à toutes les éventualités, même à celle qui lui rattachera tout le reste, si nous lui donnons la force nécessaire à supporter la charge que lui imposeraient des aiguilles de même hauteur que la porte, soit 1/3 de la pression totale qui s'exerce sur le vantail. Ceci réalisé, nous pourrons consolider comme nous le

voudrons le vantail avarié ; quoi que nous fassions, les pressions que nous arriverons à développer n'atteindront jamais ce maximum, et la partie supérieure demeurera inébranlable.

Où, maintenant, la partie centrale, supposée trop faible, verra-t-elle se produire sa déformation *maxima?* Évidemment, ce sera sur la verticale qui passe par le milieu, en vertu de la symétrie. Le panneau (supposé homogène bien entendu) s'infléchira à la manière d'une aiguille chargée, c'est-à-dire que le maximum de flexion se trouvera entre les 43 et les 50 centièmes de la hauteur totale, à partir du seuil ; c'est là, par suite, que nous appliquerons la puissance, comme nous l'avons dit plus haut, et comme les expériences témoignent qu'il faut le faire.

Mais quelle sera la force à mettre en jeu ? Nous l'ignorons et nous avouons que nous ne voyons pas le moyen de la calculer d'une manière rigoureuse. Nous aurons alors recours à un nouveau maximum ; nous supposerons le panneau décomposé en quatre triangles ayant leur sommet au centre de pression, et tendant à tourner autour de chacune des arêtes du cadre ; ce sera comme si l'on avait donné deux traits de scie dans la porte suivant les diagonales, et comme si l'on cherchait à retenir le sommet des quatre triangles contre la poussée de l'eau, à l'aide d'une force unique appliquée à leur point de réunion. L'hypothèse est très exagérée, et aboutira nécessairement à un excès de résistance ; mais comme le temps fait promptement justice de ces excès de résistance, il n'y a pas d'inconvénient à l'adopter. Elle nous conduit à une force encore sensiblement égale au tiers [1] de l'effort total exercé par l'eau sur le vantail.

Ici toutefois la situation change, et pour développer une résistance égale à cette force unique, nous pouvons choisir le mode le plus économique ou le plus sûr. Si le vantail est haut et large, la poutre-appui sera horizontale ; s'il est large et peu haut, elle sera verticale ; s'il est carré, on pourra user de deux

---

(1) Voici le calcul qui peut être fait :
Appelons 2B la largeur du vantail ;
H + H' la hauteur du même vantail, H et H' étant les distances qui sé-

pièces, l'une verticale, l'autre horizontale, qui étant égales se partageront également l'effort pour une flexion commune.

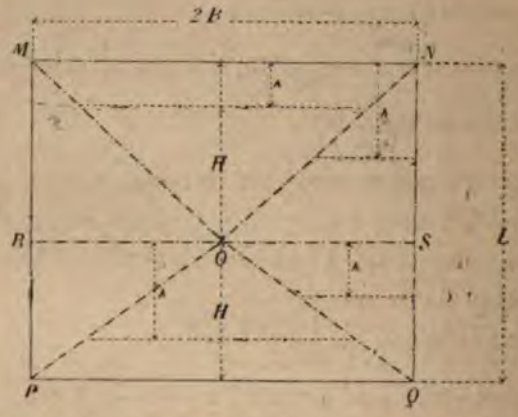
Si une pièce unique ne suffit pas, nous en grouperons plusieurs autour du point faible, dans la mesure nécessaire aux autres exigences de la construction ; mais en ne perdant jamais de vue que la résistance est d'autant plus efficace qu'elle agit plus directement sur le point faible.

---

parent un point quelconque de la ligne médiane des deux bases parallèles.

Supposons le niveau de l'eau d'amont à la hauteur de l'arête supérieure de la porte, et l'écluse vide en aval, de façon que la pression soit à son maximum ;

Imaginons, en outre, que le vantail ait reçu dans son panneau six traits de scie OM, ON, OS, OQ, OP, OR (Voir la figure), qui en aient



divisé la surface en six triangles MON, NOS, SOQ, QOP, POR, ROM; chacun de ces triangles, sous la poussée de l'eau, tendra à pivoter autour de sa base ; et, pour les maintenir tous en place, il suffira d'appliquer à leur sommet commun, une force qui mesurera l'effort maximum à appliquer en ce point pour maîtriser la déformation. Cette force sera d'ailleurs égale à la somme des forces composantes qui tiendraient en équilibre chaque triangle envisagé isolément, composantes que nous allons déterminer.

1° Triangle MON. En considérant le triangle MON comme formé d'éléments horizontaux, la surface de chaque élément sera $2B \times \frac{H-h}{H} dh$.

La pression de cette surface sera $2B \times \frac{H-h}{H} h.dh$.

Le moment de tout le triangle sera par suite :

$$S \frac{H}{2B} \frac{H-h}{H} h^2 dh = \frac{1}{6} BH^3.$$

Placées horizontalement, ces pièces soulageront l'entretoise supérieure; placées verticalement, elles reporteront sur le seuil une plus grande partie de la pression totale; mais si elles viennent à s'affaiblir et à céder un peu sous la charge, on est sûr que cette déformation n'entraînera pas pour l'entre-

---

Et la force qui, appliquée au point O c'est-à-dire à une distance H de la base, fournira le même moment, sera $\frac{1}{6}BH^2$ (1re force).

2° Triangles NOS et MOR.

En considérant encore ces triangles comme composés d'éléments horizontaux, la charge de chacun d'eux est $B\times\frac{h}{H}dh$, la pression d'eau est h, la distance à la charnière $\frac{1}{2}B\times\frac{h}{H}$, en sorte que le moment élémentaire a pour expression $\frac{1}{2}\frac{B^2}{H^2}h^3\,dh$.

L'intégrale entre O et H sera $\frac{1}{8}B^2H^2$, et la force qui appliquée au point O aura le même moment sera $\frac{1}{8}BH^2$.

Pour les deux triangles, elle sera $\frac{1}{4}BH^2$ (2e force).

3° Triangles SOQ et ROP.

La surface de chaque élément horizontal est $B\times\frac{H'-h}{H'}dh$.

La charge d'eau sur chacun d'eux est $H-h$.

La distance à la charnière est $\frac{1}{2}B\times\frac{H'-h}{H'}$.

Le moment élémentaire sera par suite $\frac{1}{2}B^2\left(\frac{H'-h}{H'}\right)^2H+h$.

Le moment résultant sera la somme des moments élémentaires entre O et H', c'est-à-dire en effectuant et intégrant $\frac{1}{24}B^2H^2+\frac{1}{6}B^2HH'$, ou pour les deux triangles : $\frac{1}{12}B^2H'^2+\frac{1}{3}B^2HH'$.

Et la force qui, appliquée au point O, c'est-à-dire à une distance B de la charnière, donne le même moment sera $\frac{1}{12}BH'+\frac{1}{3}BHH'$ (3e force).

4° Triangle QOP.

Dans le triangle QOP la surface élémentaire sera $2B\frac{h}{H'}dh$.

La charge d'eau $H+h$.

La distance à la charnière $H-h$.

Le moment élémentaire $2B\times\frac{h}{H'}dh\,(HH'+hH'-hH-h^2)$, et la somme

toise du haut un effort supérieur à ses forces. Les consolidations partielles quelles qu'elles soient, seront dans le même cas, et pourront être effectuées sans inconvénient, ce qui n'a pas toujours lieu dans le cas d'entretoise d'égale force.

Le vantail se trouvera ainsi partagé en panneaux encadrés de pièces très puissantes, dont les parties non appuyées peuvent résister toutes à la fois quand le système est bien solidaire, séparément quand il se désunit, mais, en tout état de cause, sans cesser d'avoir une force suffisante.

Nous raisonnerons alors sur chaque panneau comme nous l'avons fait sur toute la porte, en soutenant son point faible de la façon la plus économique, eu égard aux données de la question. Il en résultera une nouvelle subdivision sur laquelle on pourra raisonner de la même manière; et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on arrive à un espacement des pièces soutiens

---

des moments élémentaires entre O et H deviendra : $\frac{1}{3}BHH'^3 + \frac{1}{6}BH'^4$.

Dès lors, la force qui, appliquée au point O, c'est-à-dire à une distance H de la charnière donne le même moment, sera $\frac{1}{3}BHH' + \frac{1}{6}BH'^2$ (1e force).

Si nous réunissons ces quatre forces appliquées au même point et dans la même direction, leur somme nous donne pour la force totale à appliquer au point O l'expression $\frac{B}{12}(5H^2 + 8HH' + 3H'^2)$.

Transformons un peu cette formule, pour la rendre plus aisément discutable.

Appelons L la hauteur totale de la porte et faisons $H = xL$, il s'ensuivra $H' = (1-x)L$, et l'expression deviendra $BL^2\left(\frac{2x+3}{12}\right)$.

Or, si nous remarquons que BL^2 n'est pas autre chose que la pression totale supportée par le vantail, et si nous appelons P cette pression totale, la force à appliquer au point O sera définitivement $P \times \frac{2x+3}{12}$.

Si nous faisons $x = 0$, c'est-à-dire si le point O est au sommet de la porte, la force devient minima et égale aux $\frac{3}{12}$ P, c'est-à-dire $\frac{P}{4}$.

Si nous faisons $x = 1$, c'est à-dire si O est sur le seuil, la force est à son maximum $\frac{5}{12}$ P.

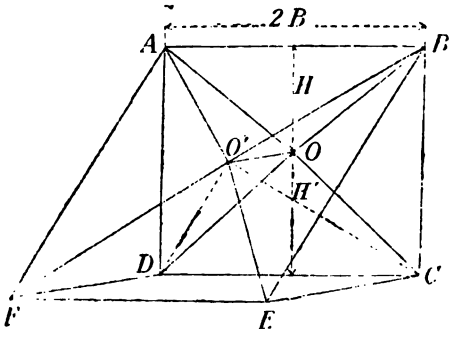
Enfin, pour $x = 0{,}50$, c'est-à-dire si le point O est au milieu de la porte, la force devient $\frac{4}{12}$ ou $\frac{1}{3}$ de P.

assez restreint pour que les bordages le franchissent d'une portée. Nous n'avons pas besoin d'ajouter qu'il sera toujours facile d'augmenter ou de diminuer l'épaisseur des bordages, pour que leur force réponde à l'espacement qu'ils sont destinés

---

Observons en passant que si, au lieu de faire $\alpha = 0.50$, nous prenons $\alpha = 0.60$, le coefficient de P passe simplement de $\frac{4}{12}$ à $\frac{4.20}{12}$, c'est-à-dire ne varie que de 0.0166. On peut donc faire varier le point d'application de la force qui doit s'opposer à la déformation du vantail, aux environs du milieu, sans modifier sensiblement son intensité.

La formule à laquelle nous sommes arrivé a été obtenue par M. l'ingénieur Chemin, d'une manière plus élégante, par la géométrie.



Soit ABCD le vantail d'une largeur 2B ; soit O le point défini par les distances H et H'. La charge totale sur la porte est représentée par le prisme ABCDEF, et les charges sur chacun des triangles par les solides correspondants.

AOB	supporte le solide	O'OAB	ou v_1
BOC	—	O'OBCE	ou v_2
AOD	—	O/OADF	ou v_3
COD	—	O/OCEFD	ou v_4

Ces charges sont normales à la porte, et passent par les centres de gravité de ces divers solides. Ces trois derniers peuvent se décomposer ainsi qu'il suit :

O'OBCE	en O'OBC et O'BCE	ou	v'_2 et v''_2
O OADF	en O'OAD et O'ADF	ou	v'_3 et v''_3
O/OCEFD	en O/OCD et O'CDDEF	ou	v'_4 et v''_4.

Les moments des poids des quatre solides (ou de leurs volumes, puisque la densité de l'eau est l'unité) pris respectivement par rapport à AB, BC, AD et CD doivent être égaux aux moments des composantes de la charge cherchée en O, soit f_1, f_2, f_3 et f_4.

Par des considérations géométriques très simples et connues, on trouve :

$$f_1 = \frac{1}{2} v_1 ; \quad f_2 = \frac{1}{2} v_2 + \frac{1}{4} v''_2 ; \quad f_3 = \frac{1}{2} v'_3 + \frac{1}{4} v''_3 ; \quad f_4 = \frac{1}{2} v'_4 + \frac{1}{4} v''_4 .$$

à fermer[1]. On n'aura, d'ailleurs, rien à craindre d'un excès de force puisque les pièces principales sont calculées pour le maximum de roideur des pièces intermédiaires.

Inversement, ces éléments intermédiaires, bien que calculés pour une résistance individuelle par panneau, seront ré-

---

Donc la charge totale

$$F = \frac{1}{2}(v_1 - \quad + \frac{1}{4}(v''_2 + v''_3 + v''_4)$$

$$\text{ou } \frac{BH(H \cdot}{3} \quad \cdot) \left(\frac{H+H'}{6} + \frac{H'}{3}\right)$$

$$\text{ou } \frac{B(H+}{12} \quad \cdot H+H')$$

$$\text{ou } \frac{B}{12}(5H^2$$

c'est-à-dire l'expression que r onnée plus haut.

(1) Le calcul de résistance des p es est trop connu pour que nous nous y arrêtions. Toutefois il est commode de se rendre compte *a priori* et très rapidement de l'épaisseur de bordage qui correspond à un espacement donné des pièces soutien, et c'est le but de la présente note :

Si nous nous reportons aux expériences de M. Chevallier, nous y constatons ce fait que la flexion d'un madrier est à peu près identique, sous une pression graduée comme une charge d'eau ou sous la même pression uniformément répartie. En se servant alors de la formule usuelle

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et en faisant $b = 1.00$ et $R = 900.000$, ce qui n'a rien d'excessif pour la poussée tranquille d'un liquide, on trouve que pour une pression d'eau de 3m, 00 le bordage doit être $\frac{1}{20}$ de la portée, tandis qu'il en devient $\frac{1}{15}$ pour une pression d'eau de 5 mètres.

On peut donc dire, d'une manière générale, que l'épaisseur du bordage doit varier du quinzième au vingtième de la portée, suivant que la chute de l'écluse varie de 5 à 3 mètres.

Si l'on s'effrayait de la valeur 900.000 donnée à R, malgré la multiplicité des hypothèses rassurantes que nous avons acceptées, nous ferions remarquer que l'on pourrait faire $R = 750.000$ sans changer beaucoup la règle, attendu que le rapport de l'épaisseur à la portée varie non comme R, mais comme $\sqrt{R}$. Le changement dont nous parlons serait donc, dans le cas qui nous occupe, une augmentation de $\frac{1}{11}$ à peu près.

On sait, d'ailleurs, qu'au point de vue du prix, un ou deux centimètres d'épaisseur en plus ou en moins sur les bordages n'ont qu'une minime influence ; la main-d'œuvre de pose, le calfatage, le brayage, la peinture, les ferrures, etc., ne changeant pas.

nis et solidaires autant que faire se pourra, puisque leur solidarité est un avantage précieux à tous les points de vue, et ne peut amener nulle part à sortir des limites d'effort qui ont été prévues.

En un mot, le vantail pourra être rigide d'abord, puis perdre sa rigidité, et la reconquérir sans que la résistance qu'il offre dans ses pièces capitales puisse devenir insuffisante sous les réparations nouvelles que produisent successivement les avaries et leur réparation. C'est là, si nous ne nous trompons, une très grande garantie de durée.

C'est en même temps une économie de construction, malgré les hypothèses défavorables accumulées, parce que l'on place toujours les pièces résistantes dans le sens qui exige le moins de matière possible pour arriver à la résistance voulue.

Enfin, dans la construction de ces pièces qui offrent une résistance décroissante à mesure que les panneaux diminuent, et qui peuvent varier depuis la poutre à double table, puissamment armée, jusqu'à la simple cornière, il est facile de n'employer que des fers de même échantillon : L'oxydation sera alors régulière partout et affaiblira toutes les pièces ensemble, en attendant la rénovation.

Dans le calcul des forces en jeu et de la puissance à donner à la carcasse de la porte, nous sommes parti d'une hypothèse qui n'était pas la seule que l'on pût faire et au sujet de laquelle il ne sera pas inutile de fournir quelques explications.

Nous avons admis que la pression de l'eau sur la face amont de la porte serait envisagée, à titre de maximum, comme agissant sur un revêtement fractionné en quatre triangles par deux traits de scie, suivant les diagonales ; et nous avons supposé qu'une pièce unique s'opposerait, au sommet commun de ces triangles, à leur rotation autour du côté du cadre qui leur sert de base. On pourrait faire d'autres hypothèses, ainsi que nous allons le voir, mais nous avons, pour une double raison, préféré celle-ci au moment où nous exposions la méthode. D'abord, elle ne préjuge en rien la disposition des pièces secondaires du vantail, qui peuvent être horizontales, verticales, ou même inclinées, cela importe peu, pourvu qu'on

suppose le triangle rigide ; elle s'applique même au cas où le panneau que l'on envisage est une feuille de tôle qui s'enfle sous la pression de l'eau, et se tend dans tous les sens, comme une voile sous l'action du vent. En second lieu, cette décomposition est très favorable à la résistance, parce qu'elle considère la porte comme déplacée dans deux sens. Il était naturel, dès lors, que nous la prissions pour point de départ, puisqu'elle conduit à un maximum général qui s'applique à tous les cas.

Il est, toutefois, une foule de circonstances où il serait rationnel, tout en conservant le principe, d'adopter une décomposition plus avantagense.

Supposons, par exemple, que nous ayons choisi, pour en faire les bordages, une paroi de madriers jointifs, posés verticalement sur la carcasse ; chaque madrier devient une aiguille de barrage qu'il faut soutenir vers son point le plus fatigué. Dès lors, la pièce appui doit être horizontale ; l'effort qu'elle aura à soutenir s'évalue aisément, en répartissant la charge qu'elle supporte par mètre courant, suivant les lois statiques, entre l'entretoise supérieure, le seuil et elle.

Quand on connaîtra ainsi la charge et la portée, on étudiera quel est la meilleure manière d'appliquer la résistance. Si la porte est plus haute que large, il n'y a pas de doute. Si elle est carrée, dans le cas particulier (mais très habituel) d'un bordage vertical, la solution est la même, et l'entretoise médiane doit être horizontale.

Si la porte est plus large que haute, la question est moins simple ; mais, dans chaque espèce, on peut se rendre compte et du procédé à employer. Quand la différence entre la largeur et la hauteur est considérable, il peut être avantageux de fractionner l'entretoise horizontale en deux parties, afin de diminuer les portées ; on appuie alors les deux tronçons sur une pièce unique verticale, moins longue, et dont la résistance est par suite moins chèrement achetée.

Quand dans ce même cas, la pression devient tellement forte qu'une pièce verticale unique, placée au milieu du vantail, ne puisse plus la recevoir dans de bonnes conditions, on en emploiera deux ou même plusieurs. Chacune d'elles fonctionne

comme une aiguille de barrage ; et, de l'une à l'autre, la pièce appui des bordages n'aura plus que la dimension que l'on voudra.

Quand la différence entre la largeur et la hauteur est peu considérable, comme il faut toujours pour la rigidité que les pièces horizontales et les pièces verticales soient reliées les unes aux autres, on utilisera ces liaisons, en admettant que les charges se répartissent proportionnellement aux flèches. Il y aura alors dans le système deux pièces du même ordre d'importance, qui se partageront la charge : c'est un peu moins simple, mais on conçoit des cas où il peut y avoir avantage à en agir ainsi.

En un mot, quand on est obligé, ce qui est le cas, de se placer dans la région des hypothèses, il y a toujours plusieurs manières de faire, et on aurait tort d'être exclusif. On ne perdra pas de vue, toutefois, que lorsqu'on adopte le fer et la tôle pour les pièces résistantes, il est rare qu'on n'ait pas avantage à concentrer une résistance donnée dans une pièce unique, dont on augmente les tables et la hauteur d'âme, et dont on diminue la portée autant que les circonstances le permettent. C'est donc avec le fer et la tôle que nous nous croyons autorisé à insister sur ce principe : qu'il y a presque toujours avantage à concentrer la force dans un nombre de pièces aussi restreint qu'on le pourra, chaque pièce étant préparée pour une résistance correspondant à son rôle. Dans cette réduction des poids, on trouvera non seulement une économie de premier établissement, mais encore plus de facilité dans les manœuvres journalières ; le bois est loin d'offrir les mêmes avantages, parce que, dans les pièces de charpente, on ne peut pas faire varier à son gré la dimension la plus utile.

Nous avons admis, pour simplifier les calculs, que l'entretoise supérieure de la porte était au niveau du bief d'amont, et que le bief d'aval était à sec. Si la première condition n'était pas remplie, il serait facile de calculer l'effort qui se reporte sur cette entretoise ; mais on peut, généralement, pour les écluses qu'utilise la navigation intérieure, arriver à cette coïncidence qui réduit la hauteur de la carcasse. Les portes dont nous nous occupons n'ont à craindre, en effet, ni les

vagues ni les secousses qui les accompagnent ; et il suffit de surélever le bordage au-dessus de l'entretoise pour se mettre à l'abri d'une surprise, qui n'est possible, du reste, qu'à de grands intervalles. Quant au niveau du bief d'aval, il n'influe pas sur les considérations que nous avons présentées, à propos de la répartition possible des pressions, lesquelles, au chiffre près, ont le même genre d'action.

Enfin, nous ne terminerons pas sans faire remarquer que les pièces résistantes des portes affectées à la navigation intérieure ne sont pas dans les mêmes conditions que celles que l'on destine aux ponts. Elle n'ont, en effet, à supporter que des pressions tranquilles, progressives, sans chocs et sans vibrations, tandis que les poutres des ponts sont au contraire soumises à ces causes d'avarie, et peuvent en outre, à tout moment, subir l'épreuve d'une lourde charge, accidentelle et imprévue. La résistance de chaque vantail est, d'ailleurs, calculée pour les plus hautes eaux connues, c'est-à-dire pour une circonstance qui ne se produit que très rarement, de courte durée, et dont on est toujours prévenu à l'avance. Il n'y a donc aucun inconvénient, à notre avis, dans le calcul des portes, à adopter un coefficient de résistance plus large que lorsqu'il s'agit des ponts. Nous estimons, par exemple, que si le travail du fer ne doit pas dépasser 600 kilogrammes par centimètre carré, pour la résistance à l'effort normal et permanent, il n'y a pas grand inconvénient à aller à 800 ou même 1000 kilos, pour le cas exceptionnel des plus hautes eaux connues, lorsqu'il s'agit d'une rivière dont les grandes crues n'ont qu'une faible durée. Il est bon de remarquer, d'ailleurs, qu'à ce moment il est généralement possible de diminuer les pressions en relevant le niveau du sas, ou même d'étayer les entretoises contre les bajoyers.

524. Résumé du système de construction proposé. — En résumé si l'on veut obtenir des portes qui ne se déforment pas avec le temps, qui soient roides et solidaires, qui résistent aux pressions normales, aux chocs, aux avaries, aux changements de répartition dans les poussées qu'amènent les réparations, qui soient économiques et faciles à entretenir,

il y a lieu, suivant nous, de tenir compte des recommandations suivantes :

On demandera au fer la puissance, la rigidité, la solidité d'assemblage que doit présenter la carcasse, et on la constituera comme si elle était le seul élément résistant, abstraction faite du bordage ;

On demandera au bois l'élasticité, la rusticité, la facilité de rénovation que réclame le bordage. Les dispositions adoptées pour ce bordage, qui n'est plus qu'un rideau étanche, sont telles que les réparations en seront faciles ;

On composera la carcasse de pièces aussi peu nombreuses que possible, de fort échantillon, dans lesquelles les fers seront tous de même épaisseur, afin que l'usure soit simultanée et que la porte ne soit pas hors de service pour un détail qui manque ;

On donnera à l'entretoise supérieure des dimensions telles qu'elle puisse supporter, uniformément répartie, une pression égale au tiers de la pression totale qui s'exerce sur le vantail, cette pression étant supposée appliquée au niveau du bief d'amont ;

On armera l'entretoise du milieu assez puissamment pour qu'elle supporte à son centre une pression égale, au plus, au tiers de la pression qui s'exerce sur le vantail.

Cette première division faite, on traitera chaque panneau comme on a traité le vantail tout entier et l'on poursuivra ces divisions successives jusqu'au moment où le bordage suffira seul à supporter la pression qui correspond à sa portée. On augmentera d'ailleurs l'épaisseur de ce bordage, dans la mesure nécessaire pour réduire ces subdivisions au plus petit nombre possible.

Dans les assemblages, on s'attachera à ce que toutes les pièces soient rendues solidaires, la solidarité n'ayant, dans l'espèce, que des avantages et aucun inconvénient.

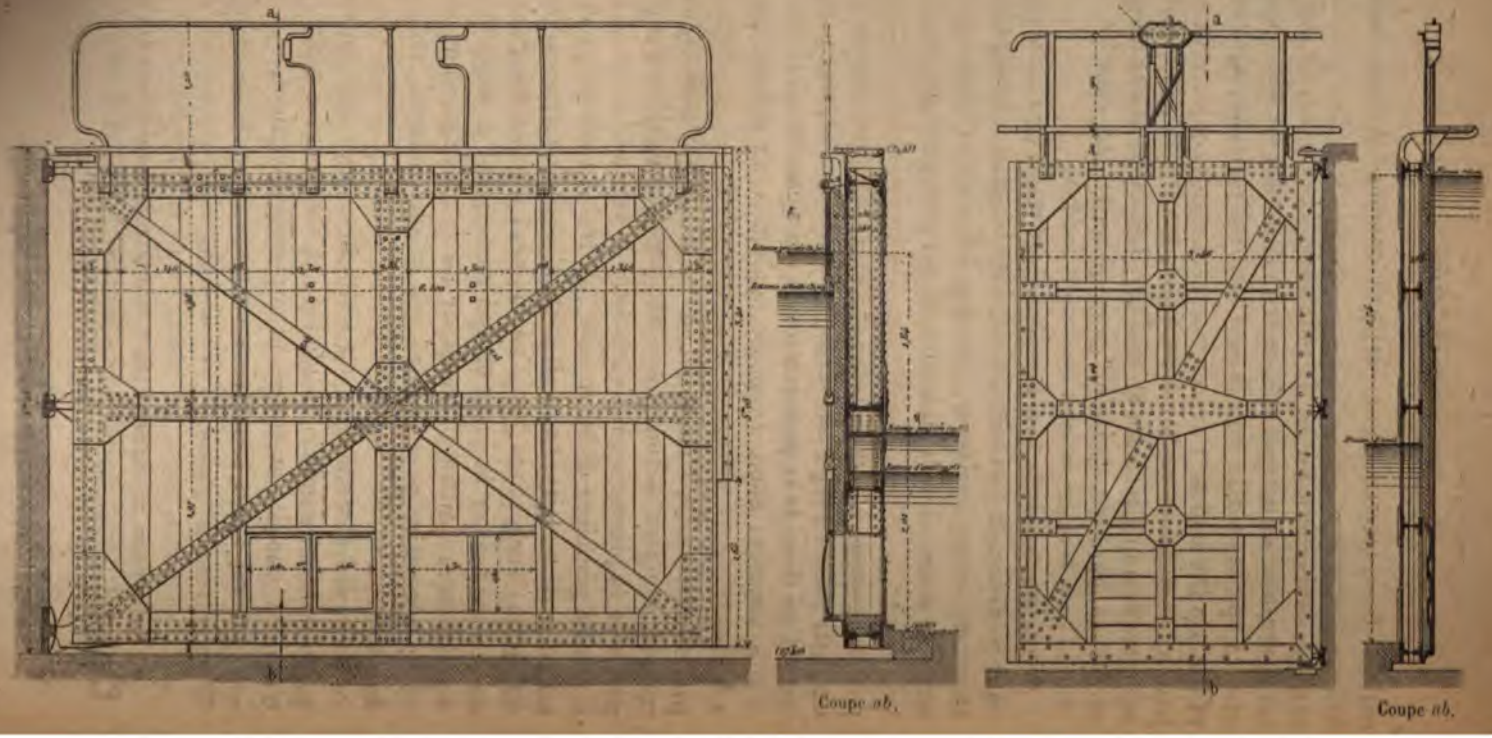
Telle est notre conclusion en matière de portes d'écluse. Hâtons-nous d'ajouter qu'elle n'engage que nous, pour le moment au moins, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Elle a reçu cependant un commencement de consécration. L'administration supérieure a autorisé le 5 février 1880 l'appli-

Écluse d'Ablon, sur la Seine.

PORTES

Canal de l'Aisne à la Marne.



Coupe *ab*.

Coupe *ab*.

cation de ce système aux portes de l'écluse d'Ablon, sur la Seine; le 28 mai 1881, elle a pris une décision dans le même sens pour les portes du canal de l'Aisne à la Marne. Le prix de revient a été par mètre carré de 198 francs dans le premier cas et de 134 francs dans le second [1]. Les vantaux sont en service et fonctionnent bien; l'avenir montrera si nos conjectures sont justes. Nous avons tenu à les rapporter ici avec quelques détails en raison des incertitudes qui subsistent sur la matière et de l'absence d'une théorie satisfaisante.

525. Emploi des portes à un seul vantail. — Maintenant que nous connaissons la manière dont se construisent et se manœuvrent les portes busquées, nous pouvons revenir sur nos pas et examiner si ce système, qui n'est pas sans une certaine complication, ne serait pas avantageusement remplacé par l'application, sur une échelle plus étendue, des portes à un seul vantail, réservées jusqu'ici aux écluses de très faible ouverture sur les canaux et rivières.

Il est évident que le fractionnement des engins de fermeture a eu pour point de départ la pensée de réduire la portée des pièces résistantes ainsi que leur poids, et de rendre ainsi la manœuvre plus facile. Aujourd'hui les constructions en fer permettent, avec un même poids, d'obtenir des résistances infiniment plus grandes, tandis que les progrès de la mécanique mettent entre les mains des éclusiers des forces considérables, rendues maniables et pratiques; il est donc naturel de croire que les organes de fonctionnement peuvent se subdiviser moins que par le passé, et par suite se simplifier.

On reproche, en effet, aux portes busquées d'être trop solidaires l'une de l'autre. Dans les manœuvres, il faut que les deux vantaux arrivent simultanément à leur position. Si le premier fermé dépasse l'emplacement qu'il doit occuper, l'autre peut rester en arrière; l'appui réciproque ne se fait plus que par une partie de la face de contact des poteaux busqués; il y a torsion et fatigue.

1. Non compris la ventellerie, dont le prix varie dans de très fortes proportions, suivant la perfection des engins employés. — Voir les figures de la page 94.

Lors du renouvellement des portes, le même défaut se fait sentir, car il faut un ajustage local fort difficile ; si la longueur des vantaux est un peu trop grande, ils ne portent plus sur le busc et chassent les bajoyers ; s'ils sont trop courts, ils sont obligés de se gauchir pour se rejoindre et cette torsion leur nuit.

Enfin au point de vue de l'étanchéité de la fermeture, les difficultés d'ajustage et le joint médian sont une cause de déperditions des plus fâcheuses, partout où l'eau n'est pas nécessaire pour l'alimentation d'un bief à l'aval.

On ne saurait contester qu'une fermeture unique et plane est plus simple et plus facile à construire. On n'a plus à se préoccuper d'un ajustage toujours difficile quand le temps presse ; et le vantail qui vient battre contre une tête absolument plane est facile à dresser, tout en permettant un ou deux centimètres en plus ou en moins dans la largeur et la hauteur, sans aucun inconvénient.

L'étanchéité peut être complète, ce qui assure non seulement une économie d'eau, mais un éclusage plus rapide. Les vannes, en outre, peuvent être plus grandes et remplir ou vider le sas avec plus de rapidité.

Enfin l'éclusier peut à lui seul manœuvrer la fermeture, ce qui est un avantage en raison de ce que, le plus souvent, les mariniers qui les aident font, par hâte et par inexpérience, des efforts préjudiciables aux portes.

Nous ne croyons pas qu'il soit possible de méconnaître la valeur de ces raisons, et il est à désirer qu'il soit fait un essai pratique permettant de juger la question. L'écluse sera un peu plus longue, puisque les chambres des portes devront s'allonger, mais l'appareil des pierres sera beaucoup moins compliqué ; quant au vantail unique, il sera certainement moins cher que les vantaux busqués, tant en raison d'un moindre développement de surface, qu'à cause d'une plus grande simplicité de construction. Il restera donc, au moins, la plus grande facilité de remplacement, ce qui avec la suppression des chômages nous paraît un sérieux avantage.

Notre opinion est, en conséquence, que l'emploi presque exclusif qui a été fait jusqu'ici des portes busquées ne doit pas

faire rejeter les portes à un vantail, lesquelles, appliquées aux écluses de 5m,20 d'ouverture, nous semblent être une simplification. Nous ne pensons pas que les nouvelles dimensions rendent nécessaire, plus que par le passé, l'emploi d'appareils spéciaux, tels qu'accumulateurs de force, pour la manœuvre ; un vantail de 5m,50 ou 6 mètres de largeur, à carcasse de tôle et muni d'une suspension soignée, est manœuvrable à la main pourvu qu'on ne veuille pas le conduire vite. Or, nous l'avons déjà dit, ce n'est pas sur l'ouverture et la fermeture des portes que l'on peut gagner un temps appréciable par rapport à la durée totale de l'éclusée. La force motrice, si l'on tient à en créer, serait beaucoup mieux appliquée à l'approche des bateaux et à leur départ de l'écluse ; en sorte que la lenteur un peu plus grande de la rotation du vantail, n'est pas un motif à invoquer.

Nous ne terminerons pas toutefois sans répéter ce que nous avons dit plus haut, à savoir que quand on est en face d'un usage aussi unanimement répandu que celui des portes busquées, la consécration de l'expérience est indispensable avant que l'on puisse se décider à un changement de système, quelque rationnel que paraisse ce changement, *a priori*.

§ V

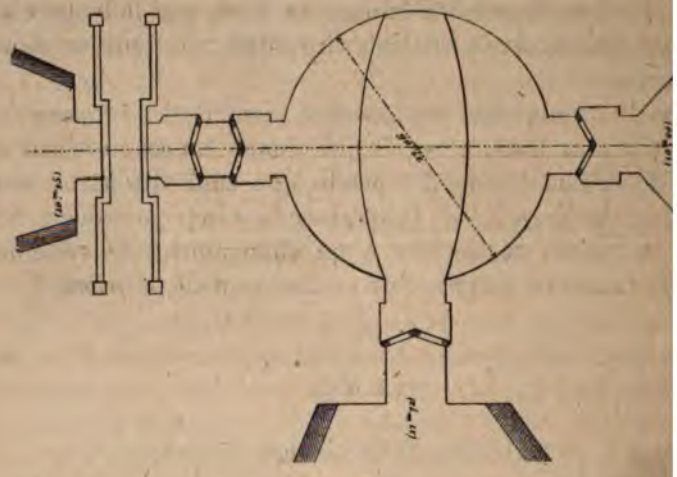
VARIÉTÉS D'ÉCLUSES A SAS.

526. Ecluses primitives du canal du Midi. — Les écluses à sas ont présenté des formes variées qu'il est bon de connaître.

Au canal du Midi on leur a donné primitivement des ba-

joyers courbes, soit pour permettre à ces murs de rés
la façon des voûtes, soit dans l'espoir d'écluser à la foi
bateaux de petite dimension. Il en est résulté une plus g
consommation d'eau dans les cas ordinaires, avec une
plus longue de l'éclusée, sans parler de la sujétion
posent les parements courbes. On y a donc renoncé.

527. Ecluse ronde d'Agde. — Sur le même ca
Agde, on trouve une écluse ronde destinée à établir un
munication entre la ligne navigable et le port d'Agde.
est circulaire, et quatre paires de portes permettent a

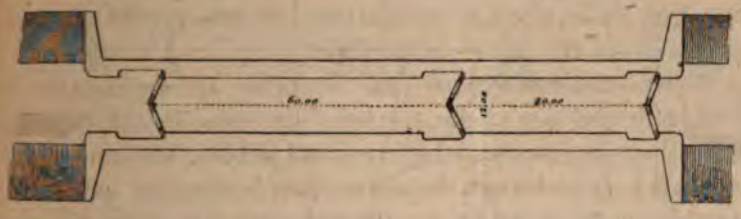


teaux les mouvements dans tous les sens, ce qui à pr
vue semble une simplification. Il n'en est rien; comm
le sas circulaire coûte autant que deux sas ordinai
comme temps il exige une durée au moins double p
remplissage. Il s'ensuit qu'il eut été probablement plu
nomique d'avoir simplement deux écluses.

528. Ecluses accolées du canal de l'Ourq. —
canaux et les rivières où la navigation est très active,
sur ceux où deux bateaux voyagent habituellement d
serve, on dispose les sas de manière à pouvoir conteni

bateaux, ou bien l'on accouple deux écluses ordinaires; on a adopté à la fois ces mêmes dispositions sur le canal de l'Ourcq où les écluses permettent le passage simultané de deux bateaux montants et de deux bateaux descendants, sous des chutes il est vrai qui n'ont que $0^m,50$ à $0^m,60$. Les deux sas (v. article 491) sont parallèles et séparés par un mur de $0^m,60$ d'épaisseur. Ils ont 50 m. de longueur et 3 m. de largeur. Les portes qui les ferment à l'amont et à l'aval sont à un seul vantail dont le poteau tourillon est logé dans les bajoyers de rive. Le poteau buttant heurte de $0^m,15$, dans la feuillure circulaire du bajoyer intermédiaire.

529. Ecluse de Marly-Bougival. — A Marly-Bougival, on a placé dans le sas, de 12 m. de largeur, 3 paires de portes.



Grâce à cette triple fermeture, on dispose de trois sas, l'un de 60 m., un autre de 40, le 3e de 100, et on les utilise suivant les exigences de la navigation.

530. Ecluses échelonnées. — Lorsque la chute à racheter est trop considérable pour une seule écluse, et doit s'effectuer sur une courte distance, on a recours à l'emploi d'écluses échelonnées, c'est-à-dire à une suite de sas composant un seul ouvrage d'art, disposés de telle sorte que les portes d'aval du premier servent de portes d'amont au second, et ainsi de suite. Un ouvrage de ce genre a été exécuté à Frouard, pour relier le canal de la Marne au Rhin et le bassin de transbordement des houilles à la Meurthe, séparée par une différence de niveau de $5^m,90$.

On trouve d'autres exemples de cette disposition dont les plus remarquables sont situés près de Béziers, sur le canal du

Midi, où sept sas successifs sont échelonnés et réunis en un seul ouvrage; au Guétin sur le canal latéral à la Loire, pour redescendre dans la vallée, après avoir franchi sur un pont aqueduc la rivière d'Allier par trois sas juxtaposés; enfin, aux Fontinettes sur le canal de Neufossé où cinq chutes sont ainsi groupées les unes à la suite des autres.

Partout, ces ouvrages, très grands, très coûteux ont besoin d'être justifiés par des nécessités locales, on peut même ajouter qu'ils peuvent entraîner un grave inconvénient : ils empêchent tout croisement sur l'étendue de la chute totale; de là, nécessité de réglementer le passage et de faire marcher successivement une série de bateaux descendants et une série de bateaux ascendants. C'est une sujétion acceptable, pourvu qu'elle ne soit pas trop fréquente, parce que les mariniers ont des heures d'arrêt forcées, qu'ils font coïncider avec celles des passages; mais elle deviendrait très gênante si elle se répétait plusieurs fois sur le même trajet.

On peut accessoirement leur reprocher de soumettre les portes et les bajoyers à des poussées plus considérables qu'ailleurs. Il arrive souvent, en effet, quand plusieurs bateaux s'engagent à la suite les uns des autres dans le passage, qu'un sas se trouve plein quand le suivant se trouve vide, la porte qui les sépare est alors complètement à découvert du côté d'aval, et la charge d'eau peut ainsi atteindre une intensité plus grande qu'en fonctionnement normal. C'est là un simple détail de construction, mais nous devions le signaler à l'attention parce qu'il est de nature à échapper à première vue.

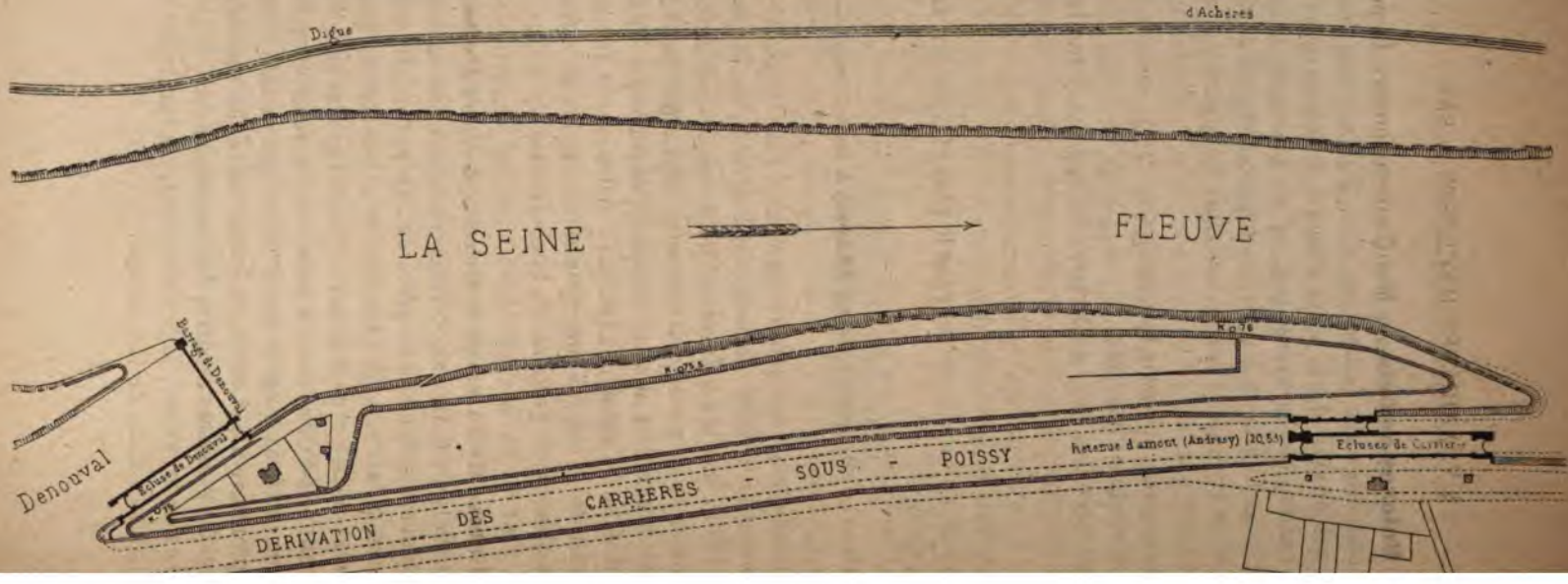
On a encore incriminé ces ouvrages à propos de la consommation d'eau qu'ils exigent et du temps qu'ils font perdre. Nous reviendrons sur ces points, en étudiant la consommation d'eau des canaux; mais nous devons, dès à présent, dire qu'à notre avis ce reproche n'est pas fondé. Il faut accuser les circonstances qui ont motivé le groupement de plusieurs écluses, mais non l'ouvrage lui-même qui nous paraît plutôt au contraire économiser le temps et l'eau, à la condition, comme nous l'avons déjà dit, que les échelonnements d'écluses soient très rares, ce qui est le cas habituel.

531. Ecluses à têtes séparées. — Pour la navigation en rivière, où l'eau est surabondante, où les fondations sont souvent très difficiles, on a exécuté des écluses à deux têtes séparées; les deux têtes, en maçonnerie, sont indépendantes l'une de l'autre, et le sas qui les réunit est formé par deux digues à talus inclinés, comprises entre des files de pieux et palplanches.

Cette disposition a été adoptée sur l'Yonne et la haute Seine, où les écluses ont 180 m. de longueur, et où l'économie des murs de sas était, par suite, très considérable. Les revê-

tements du sas sont des perrés inclinés à 45° faits avec des pierres sèches et brutes reposant sur un noyau de béton coulé sous l'eau, la digue du large, en terre, avec un noyau de corroi, a 3 m. d'épaisseur en couronne. Son talus extérieur est revêtu d'un perré en pierres sèches reposant sur des enrochements. Depuis la construction, il est arrivé, sur quelques points, que les talus du sas ont éprouvé des mouvements qui ont donné naissance à des avaries et parfois même à une certaine gêne pour la navigation. L'administration, en 1868, a prescrit de reconstruire en maçonnerie les revêtements des talus et de la plate-forme de couronnement de la digue du large. D'autres écluses, approuvées depuis, ont dû avoir des sas à bajoyers maçonnés et verticaux, en sorte que la tendance semble être un retour vers les murs droits et pleins qui réunissent, en effet, tous les avantages de commodité et qui ne sont peut-être pas beaucoup plus chers, en tenant compte des sujétions qu'imposent à l'entretien et au trafic les ouvrages trop économiques comme construction première.

DERIVATION ÉCLUSÉE DE CARRÈIRES-SOUS-POISSY



532. Ecluses en bois. — Mentionnons encore la possibilité de construire des écluses en bois. M. Mary cite l'exemple d'un de ces ouvrages qui a été exécuté à titre provisoire ; le busc, le radier, les bajoyers, tout est en pièces de bois, et se prête ainsi parfaitement à une construction rapide et facile à ajuster. M. Mary fait observer toutefois que, comme la charpente ne pèse pas sur le sol, on ne saurait prendre trop de précautions pour prévenir le passage de l'eau sous la fondation ou derrière les bajoyers.

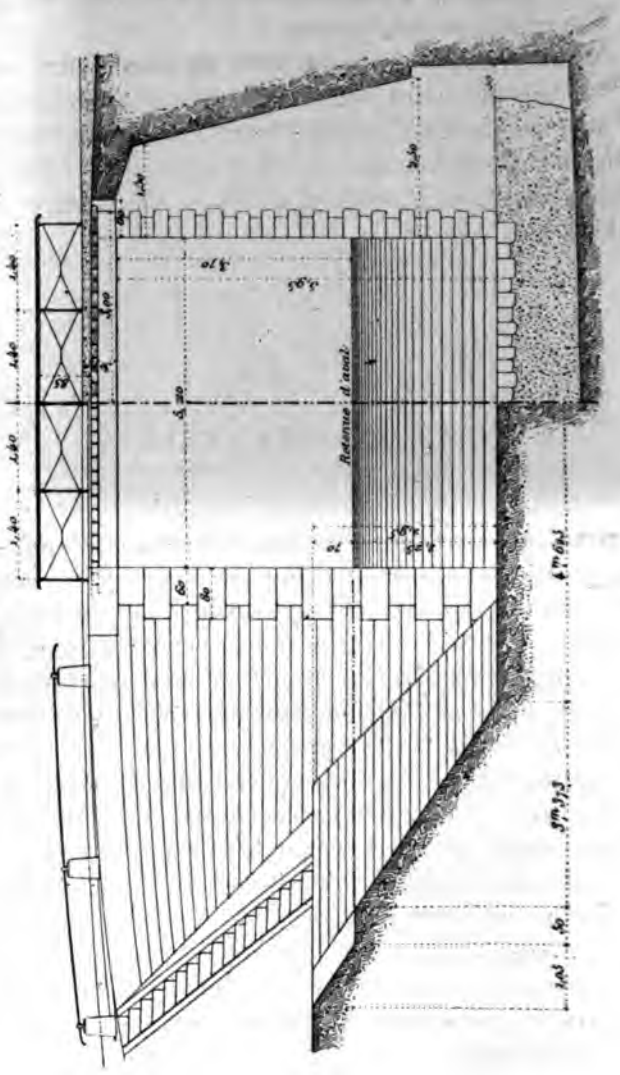
Le haut prix des bois en France, à l'époque actuelle, rend bien difficile l'adoption de cette solution forcément provisoire ; mais on y a eu fréquemment recours en Amérique, et nous devions à ce titre la faire connaître.

En somme, aujourd'hui, les types le plus récemment adoptés sont les suivants :

533. Ecluse du canal de la Marne à la Saône. — Pour les canaux, l'écluse de $5^m,20$ de largeur et de $38^m,50$ de longueur utile, avec approfondissement du radier aussi grand que le permettent les fondations. Le but de cette disposition est de faciliter, par un agrandissement de section, le mouvement d'entrée et de sortie des bateaux, sans augmenter le volume d'eau consacré à chaque éclusée. Cet ouvrage, figuré au n° 472, est muni d'aqueducs latéraux, débouchant sur le busc d'amont, dans une cage voûtée où s'éteignent les mouvements tumultueux de l'eau au début de l'écoulement.

534. Ecluse de la Seine à Carrières-sous-Poissy. — Pour les rivières canalisées, où les transports nécessitent de grandes écluses, soit pour les trains, soit pour les convois, en même temps qu'un moyen plus rapide d'assurer le passage des bateaux isolés, on peut prendre pour type l'écluse double de Carrières-sous-Poissy, sur la basse Seine. On trouve là, accolées, deux écluses à sas ayant $8^m,20$ et 12 mètres d'ouverture. La première a $53^m,30$ de longueur utile ; la seconde s'élargit jusqu'à 17 mètres au droit du sas proprement dit, lequel a 141 mètres de longueur, la distance comprise entre les deux pointes des buscs étant de 160 mètres.

PONT SUR ÉCLUSE DU CANAL DE L'EST



Pour les manœuvres hydrauliques, le double passage est desservi par les ventelles des portes et par des aqueducs munis de vannes tournantes conjuguées à axe horizontal, qui contournent les chardonnets.

Nous ne pourrions, sans sortir de notre cadre, entrer dans les détails qui concernent cette importante construction, d'une valeur de plus de 1.300.000 francs; mais on les trouvera consignés dans un mémoire de M. l'ingénieur en chef de Préaudeau, inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* (septembre 1883).

§ VI

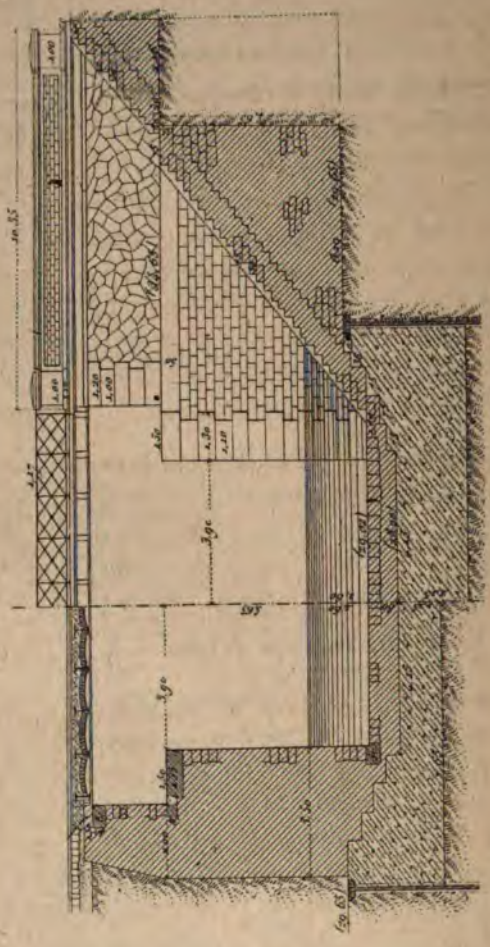
PONTS SUR ÉCLUSES

535. Rétablissement des communications. — Les canaux, lors de leur construction, interceptent des voies de circulation sur lesquelles il est nécessaire de rétablir le passage ; d'autre part, les maçonneries des écluses offrent, pour l'assiette des ponts, des fondations toutes préparées ; et il est rationnel, par suite, de placer les ponts sur les écluses ; c'est ce qui se fait toutes les fois que cette combinaison est réalisable.

Sur les rivières, la hauteur variable des eaux, la nécessité d'effectuer les manœuvres des barrages à tout moment, en même temps que d'assurer un libre passage aux crues, enfin les besoins spéciaux de la circulation de terre, permettent assez rarement d'utiliser l'un des ouvrages au profit de l'autre; néanmoins le fait peut se présenter, et justifier l'établissement de ponts sur les écluses de rivière comme sur les écluses de canaux. Il y a donc lieu d'examiner la question d'une manière générale.

536. Position du pont. — Les ponts qui couvrent les écluses, quelles qu'elles soient, doivent être assez élevés pour que les plus hauts chargements des bateaux passent sous

PONT SUR ÉCLUSE DU CANAL SAINT-MAURICE



leur intrados. De là, avantage évident à placer ces ponts sur la partie de l'écluse qui correspond au bief d'aval, c'est-à-dire sur les murs de fuite, auxquels on donne une dimension suffisante pour remplir cette destination. Aussi est-ce une règle dont on ne se départ que dans quelques circonstances exceptionnelles, sur certaines dérivations par exemple, ainsi que nous le verrons plus tard.

537. Débouché à laisser. — Le tablier doit être à telle élévation qu'il satisfasse aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 30 mai 1879. Il doit laisser, en conséquence, à partir du niveau des eaux, une hauteur libre de $3^m,70$ sur les canaux ; sur les rivières, aucune condition n'a encore été imposée, mais il est rationnel de compter sur une hauteur de 5 mètres pour les voies navigables munies d'écluses moyennes et sur $5^m,50$ pour les écluses de grande dimension. On conçoit, en effet, que la hauteur du chargement possible doit être fonction de la largeur du bateau, si l'on veut que la stabilité de celui-ci soit assurée.

Quant à la largeur de ces tabliers et à leur mode de construction, ils dépendent des exigences de la circulation de terre, et nous n'avons pas à nous en occuper, si ce n'est pour indiquer ce qui est utile au passage des bateaux, des chevaux qui les hâlent et des voitures qui ont à circuler sur les levées pour l'enlèvement des récoltes et le service de l'entretien.

538. Inconvénients de l'interruption du halage. — Sur beaucoup de canaux, on a franchement interrompu le chemin de halage et surélevé les murs de fuite pour former et y appuyer le pont. La figure de la page 104 montre un exemple de cette disposition, qui a été adoptée pour un certain nombre d'écluses du canal de l'Est. Là, le tablier est en bois ; sur d'autres points c'est une voûte qui franchit la voie navigable ; mais, dans un cas comme dans l'autre, le bateau est obligé de pénétrer dans une section rétrécie qui l'enveloppe de toutes parts, et l'isole de la force motrice et directrice qui lui servait auparavant. Il a pu préalablement, il est vrai, détacher son amarre avant de s'engager sous le passage, puis s'y fixer à

nouveau en la reprenant de l'autre côté du pont, mais il n'en est pas moins resté sur sa vitesse acquise pendant un certain temps, précisément aux abords du rétrécissement ; et c'est une gêne qui s'ajoute aux lenteurs déjà trop grandes de l'éclusée. La suppression pure et simple du chemin de halage est donc une chose à éviter, toutes les fois que le trafic peut avoir une certaine importance, sur un canal ; elle est absolument irréalisable sur une rivière.

539. Passage à assurer aux mariniers. — On peut se dire, comme excuse à cette gêne, que l'écluse est un point de stationnement forcé, et que le bateau devant l'aborder ou la quitter sans vitesse sensible, la force motrice a moins besoin de se déployer là qu'ailleurs. Cette excuse, toutefois, n'est pas applicable à la force directrice, laquelle doit permettre à tout moment d'éviter des chocs préjudiciables aux bateaux comme aux ouvrages. A ce point de vue, la solution adoptée sur le canal Saint-Maurice (dérivation de la Marne canalisée) nous semble infiniment préférable. Là, on a construit à $1^{m},50$ en arrière des murs de fuite, deux culées spéciales pour le pont ; l'ouverture s'est, par suite, un peu agrandie, mais il est resté de chaque côté, le long des bajoyers, un petit chemin de halage où peuvent passer les mariniers qui entretiennent ainsi l'impulsion du bateau et en profitent pour le diriger d'une manière constante.

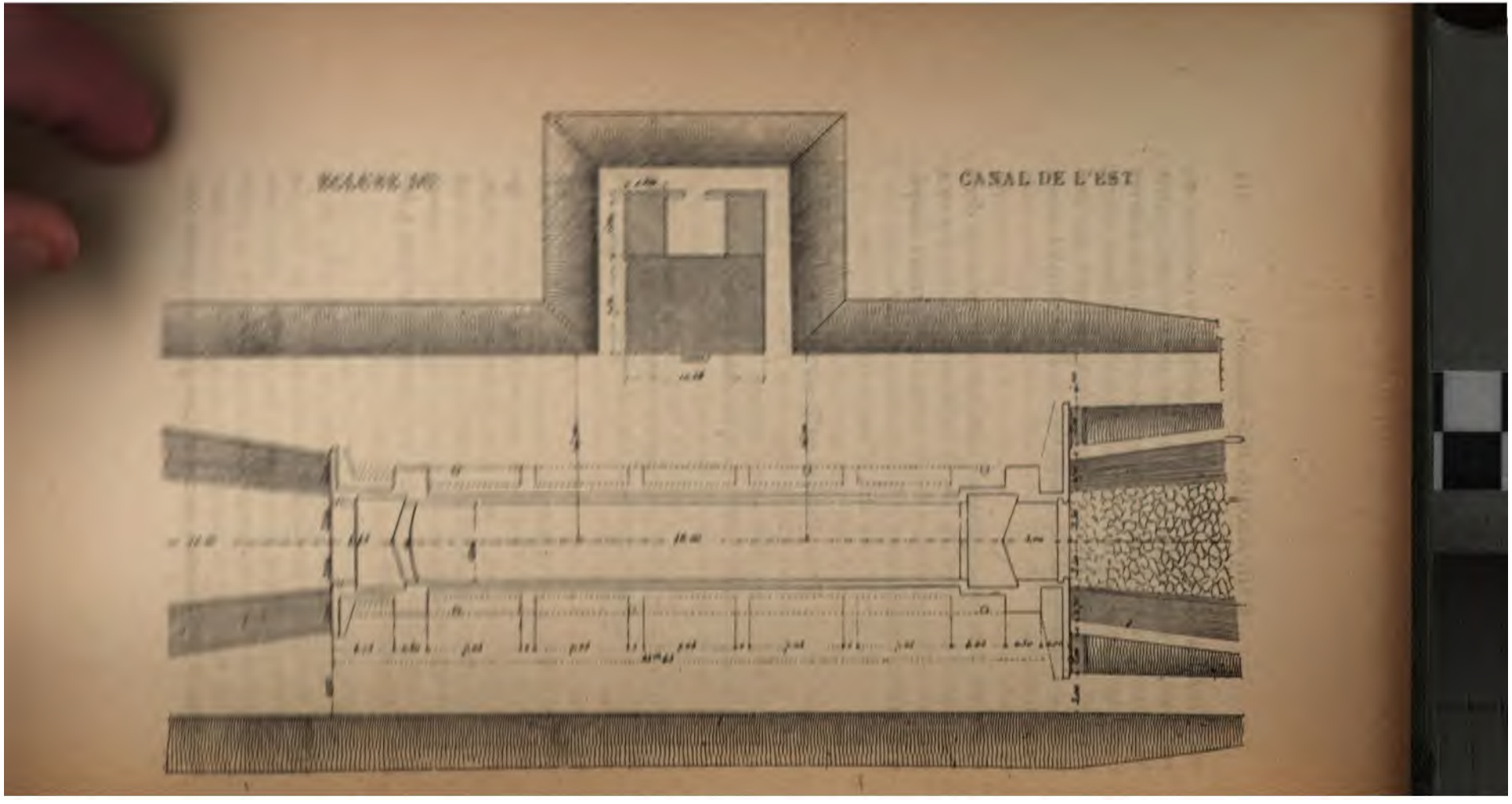
Les poutres du pont ont été placées à 2 mètres au-dessus de ce petit chemin de halage, en sorte que le passage y est facile, et les manœuvres non moins aisées. Cette facilité n'a, d'ailleurs, pas été acquise au prix d'une surélévation du tablier, qui eût imposé à la circulation de terre une ascension inutile. On a, au contraire, abaissé le dessus du mur de fuite ; la différence de niveau avec le terre-plein de l'écluse est rachetée par un escalier que suivent les haleurs. On a ainsi concilié les intérêts en présence, d'une façon que nous croyons heureuse et économique, en ce qu'on a tenu compte des divers besoins, et qu'on n'a demandé à chacun d'eux que des sacrifices acceptables.

Dans ce cas comme dans l'autre une rampe dont l'inclinaison

n'excède pas 10 0/0 doit relier le terre-plein de l'écluse et les chemins de halage, afin que la circulation soit assurée pour des animaux et des voitures, non seulement le long du canal, mais encore entre le canal et les voies qui y aboutissent. C'est le complément nécessaire de tout passage supérieur à une écluse, quand ce passage intercepte ou transforme le halage le long de ses bajoyers.

540. Chemin de halage complet. — Nous ne parlerons que pour mémoire ici, d'une troisième solution consistant à relever le pont et à agrandir assez son ouverture pour que toutes les manœuvres s'exécutent comme s'il n'existait pas. Il est évident qu'alors la navigation se trouverait affranchie de toute gêne ; mais cet avantage s'achèterait au prix d'une surélévation et d'une dépense qu'il est inutile d'imposer à la voie de terre, parce que, comme nous l'avons dit plus haut, l'arrêt forcé que subissent les bateaux dans l'écluse est une circonstance dont il y a lieu de tenir compte. En l'étudiant de près, on reconnaîtra que la direction est beaucoup plus nécessaire aux bateaux qui s'éclusent qu'une impulsion directe et prolongée, analogue à celle qui est utile en pleine route. Le chemin de halage pour mariniers est donc suffisant à notre avis.

541. Ponts mobiles sur écluses. — Lorsqu'on ne peut pas disposer d'une hauteur assez grande pour adopter cette solution d'un pont fixe avec petits chemins de halage, il faut recourir à un pont mobile. On établit ce pont mobile à une seule travée, afin de laisser un des côtés de l'écluse tout à fait libre pour le halage ; et on le place en telle position que son évolution ne gêne ni la manœuvre des portes, ni les bateaux rangés aux abords, ce qui l'amène souvent sur les bajoyers au centre du sas, plutôt que sur les murs de chute. Nous traiterons du reste un peu plus tard cette question des ponts mobiles, en sorte que nous nous bornerons ici à ces indications, en faisant remarquer pourtant que ces ouvrages, acceptés la plupart du temps comme un pis aller par les Ingénieurs, se justifient mieux qu'ailleurs sur une écluse. Là, en effet, il y a


CANAL DE L'EST

un personnel toujours disponible ; la portée est restreinte et, par suite, le tablier léger ; enfin, si ces ponts forcent parfois les voitures à attendre, ils leur épargnent, par contre, de s'élever inutilement pour redescendre immédiatement après. Un arrêt complet serait inadmissible, nous le reconnaissons, sur une route à circulation un peu importante ; il peut valoir mieux qu'un travail inutile sur certains chemins ruraux peu fréquentés en plaine, et surtout si le passage est destiné à des voitures agricoles rares, mais lourdement chargées. Il ne serait donc pas juste de repousser *a priori* les ponts mobiles, comme on a peut-être été trop porté à le faire dans ces derniers temps, d'une façon systématique.

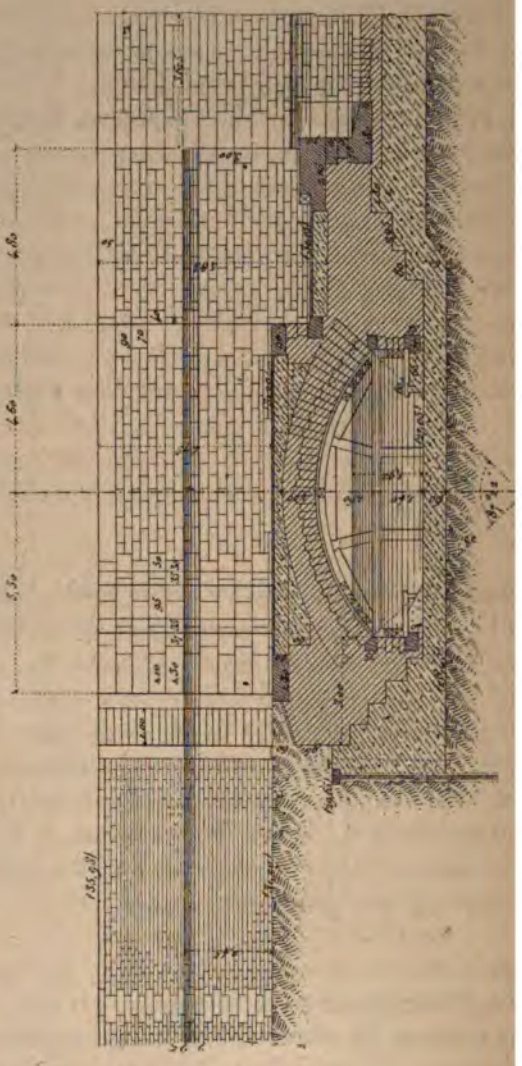
§ VII

ABORDS DES ÉCLUSES

542. Usages divers des abords d'une écluse. — Sur le terre-plein des écluses s'opèrent des manœuvres de transit qui se succèdent d'une manière constante; aux environs stationnent les bateaux qui attendent leur tour de passage ; dans le voisinage se trouvent généralement les magasins affectés au service de la voie navigable; enfin, aujourd'hui, beaucoup d'appareils télégraphiques y sont mis à la disposition du public, en même temps que les agents fournissent à l'Administration des renseignements hydrométriques de toute nature. Il s'ensuit que chaque écluse est un petit centre dans lequel tout a besoin d'être convenablement ordonné.

543. Dispositions générales. — La planche de la p. 110 montre les dispositions adoptées au canal de l'Est. Le terre-plein est vaste et bien dégagé ; des murs en retour limitent les deux têtes à leur partie supérieure, tandis qu'à la partie inférieure le plafond se raccorde par un perré en surface gauche avec le profil normal du canal. Une petite banquette con-

AQUEDUC SOUS L'ÉCLUSE DE GRAVELLE (CANAL SAINT-MAURICE)



tinue, à l'aval, le chemin de halage jusqu'au mur en retour et permet de guider les bateaux jusqu'à l'entrée de l'écluse. Enfin la maison éclusière, placée au niveau du terre-plein, et à mi-distance des deux têtes, surveille le tout à l'aide de ses vues de face et de côté, tandis que les magasins et hangars situés en arrière sont moins accessibles au public.

C'est là l'arrangement d'une écluse simple. Il se prête, d'ailleurs, aux besoins d'un ouvrage d'art plus complexe. Ainsi que nous l'avons vu, les ponts se placent sur les murs de fuite, ils sont alors à la limite du terre-plein et gênent le moins possible les manœuvres. Du côté d'amont, à l'autre limite, se trouvent souvent des aqueducs ou des ponts-canaux, car s'il est rationnel de profiter de l'abaissement du bief d'aval pour y établir les passages en dessus, il ne l'est pas moins de profiter de l'élévation relative du bief d'amont pour y placer les passages en dessous (figure ci-contre). L'éclusier peut ainsi surveiller tous ces ouvrages de chez lui, en sorte que leur groupement est non seulement économique, mais encore favorable au service.

544. Bornes d'amarrage. — Le terre-plein doit être garni de bornes d'amarrage permettant de fixer le bateau à écluser à quatre amarres, en cas de nécessité. Dans les écluses en rivière, les points d'attache ont besoin d'être plus multipliés que dans les autres, si les sas peuvent recevoir plusieurs bateaux ou trains; on ajoute alors aux bornes, dans le parement vertical des bajoyers et à diverses hauteurs, quelques organeaux noyés dans un refouillement du mur, de façon à ce qu'il n'y ait aucune saillie sur le parement. Le scellement s'opère bien entendu sur une boutisse.

545. Echelles de sauvetage. — Il ne faut pas omettre de placer également, dans des refouillements spéciaux du bajoyer, des échelles de sauvetage allant du couronnement du mur au niveau du bief d'aval; ces échelles doivent être placées des deux côtés, et se multiplier si le sas est très long.

546. Echelles hydrométriques. — En amont et en aval du terre-plein, immédiatement contre le mur en retour, il est utile d'avoir deux escaliers qui permettent à l'éclusier de surveiller le niveau de ses deux biefs, et de prendre avec sécurité aux échelles les cotes d'eau qu'il doit noter chaque jour à plusieurs reprises.

547. Accès des batelets. — Au pied de ces escaliers, surtout pour les écluses en rivière, il est bon qu'un léger élargissement superficiel permette le stationnement d'un batelet en dehors du passage de la navigation. Il y a sur ces escaliers un mouvement fréquent de mariniers, et la rapidité des éclusées est de beaucoup facilitée par une communication commode entre la rive et le cours d'eau.

548. Tableau des hauteurs d'eau. — Enfin, sur les voies qui sont longées par des lignes télégraphiques, chaque écluse reçoit un tableau sur lequel est inscrit, chaque jour, le tirant d'eau qu'offrent aux bateaux les écluses les plus voisines d'amont et d'aval, ce qui permet aux mariniers de régler leur marche et leur chargement suivant l'état des eaux.

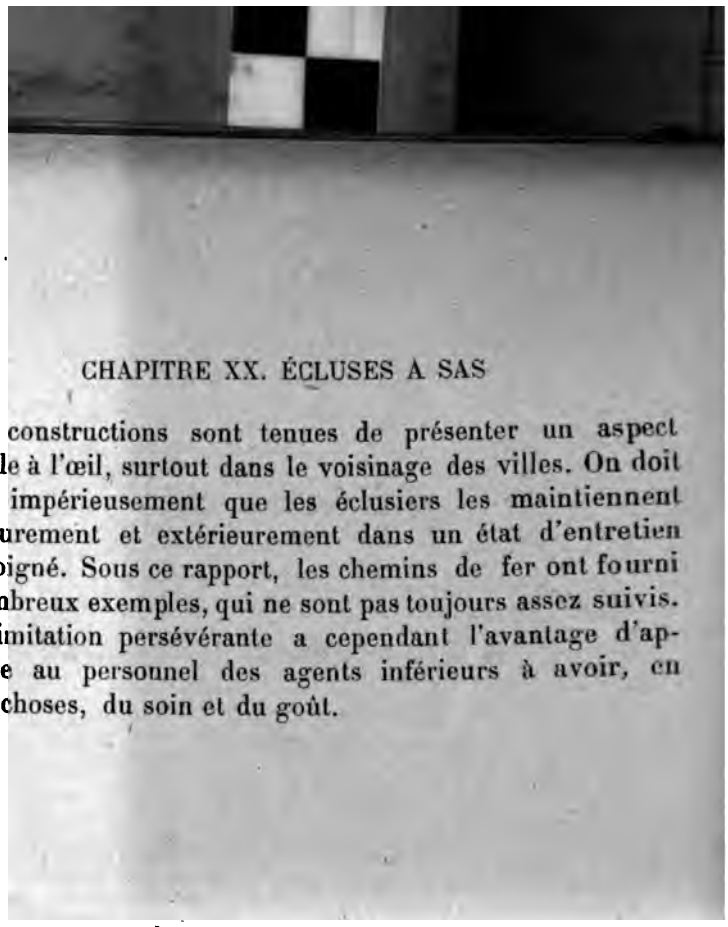
549. Perrés aux abords. — Nous ne parlons que pour mémoire des perrés aux abords des écluses, perrés dont la longueur et la résistance doivent être d'autant plus fortes que les sas sont plus grands et se vident plus rapidement. Sur les canaux on se contente de 10 à 20 mètres en amont, et de 20 à 30 mètres en aval, tant sur les berges que sur le plafond. En lit de rivière, si ces dimensions sont suffisantes pour l'amont, elles doivent être au moins doublées pour l'aval; on conçoit du reste qu'elles dépendent de la résistance propre du lit, de sa forme même, et qu'il est impossible par suite de poser des règles fixes.

550. Maison éclusière. — Reste la maison éclusière dont les types sont variables comme les besoins qu'elle doit servir, car une maison éclusière est toujours un peu un magasin, et doit abriter des engins de la nature la plus divers

suivant les climats, le genre de trafic, etc. Il convient que les éclusiers y soient à l'aise avec leur famille, que les logements soient salubres, propres, et disposés suivant les habitudes du pays. Une cave, une écurie, un chai, un grenier, un puits, sont des accessoires obligés, si l'on veut que les postes soient enviés, et par suite occupés par des ouvriers de choix. Un jardin, des réserves de quelque importance pris sur les dépendances de la voie navigable ne sont pas moins nécessaires. En un mot, il ne faut jamais perdre de vue que l'éclusier doit demeurer constamment à son poste, avoir toujours à s'y occuper, soit pour lui, soit pour l'Administration; et, autant que possible, s'y plaire. Ces conditions sont mieux remplies en rase campagne par un rez-de-chaussée surmonté d'un grenier, que par l'établissement d'un étage intermédiaire; et, en cela, les maisons éclusières suivent la loi commune aux habitations rurales, dont en général elles font partie. On ne voit pas, d'ailleurs, la nécessité de reproduire le même type sur toute l'étendue de la même voie navigable, car il n'y a aucune raison pour astreindre le personnel à une uniformité de logement qui ne cadre pas avec ses besoins essentiellement divers.

551. Magasin. — En ce qui concerne le magasin, il y a lieu de le séparer bien nettement de tout ce qui est logement et servitudes. Si le voisinage est nécessaire, la distinction ne l'est pas moins, et les règles administratives relatives au matériel font de cette séparation une nécessité pratique.

552. Poste télégraphique. — L'usage de plus en plus répandu du télégraphe sur les voies navigables, amène à prévoir l'établissement d'un poste dans chaque maison éclusière, et il convient de disposer le logement de l'éclusier en vue de cette éventualité. Il suffira d'une petite pièce accessible au public d'une part, réunie au logement d'autre part, mais exclusivement réservée au télégraphe et permettant, au besoin, le secret des transmissions. On conçoit, d'ailleurs, l'utilité de soustraire les appareils aux dangers que pourrait leur faire courir le stationnement, dans la même chambre, de l'agent et de sa famille.



Ces constructions sont tenues de présenter un aspect agréable à l'œil, surtout dans le voisinage des villes. On doit exiger impérieusement que les éclusiers les maintiennent intérieurement et extérieurement dans un état d'entretien très soigné. Sous ce rapport, les chemins de fer ont fourni de nombreux exemples, qui ne sont pas toujours assez suivis. Leur imitation persévérante a cependant l'avantage d'apprendre au personnel des agents inférieurs à avoir, en toutes choses, du soin et du goût.

CHAPITRE XXI

FONDATIONS DES ÉCLUSES A SAS

ET AUTRES OUVRAGES HYDRAULIQUES

SOMMAIRE :

§ 1er. *Fondation par les procédés ordinaires.* — 553. Fondation à flanc de coteau. — 554. Fondation dans un terrain meuble peu perméable. — 555. Fondation sur un rocher compact. — 556. Fondation dans une roche tendre. — 557. Fondation dans un gravier compact. — 558. Fondation dans un terrain perméable et incompressible. — 559. Fondation dans un terrain perméable et compressible. — 560. Fondation dans un terrain compressible et imperméable. — 561. Fondation en terrain de vase indéfinie.

§ 2. *Usage de l'air comprimé pour les fondations.* — 562. Formes de radoub de la darse Missiessy à Toulon. — 563. Barrage d'Ivry. — 564. Modifications au système de fondation à l'air comprimé. — 565. Barrage du Coudray. — 566. Temps consacré aux opérations de fondation à l'air comprimé. — 567. Autres applications possibles de l'air comprimé.

§ Ier

FONDATION PAR LES PROCÉDÉS ORDINAIRES

Les écluses à sas, avec leur appareil assez compliqué, avec leur état habituel d'immersion complète, avec le poids considérable de leurs parties constitutives, ont besoin de fondations inébranlables, assez difficiles parfois à réaliser. Nous examinerons sommairement les procédés de fondation qui peuvent être employés, renvoyant pour les détails au volume concernant les procédés généraux de construction.

553. Fondations à flanc de coteau. Lorsque la fouille d'une écluse ou de tout autre ouvrage hydraulique se pratique

dans un sol situé au-dessus de la nappe des eaux souterraines, à flanc de coteau par exemple, le travail s'exécute comme dans un déblai quelconque; nous ne nous y arrêterons pas.

554. Fondation dans un terrain meuble peu perméable. — Au-dessous du niveau de la nappe des eaux souterraines, si le sol que l'on rencontre est très peu perméable, on continue la fouille par les mêmes procédés, c'est-à-dire à la pioche et à la pelle, en entourant le chantier d'un fossé d'assainissement, qui conduit les eaux au puisard où se trouve la pompe d'épuisement. Des ouvriers spéciaux approfondissent le fossé à mesure que la terre s'enlève du centre de la fouille et l'on descend ainsi jusqu'au sol sur lequel on veut fonder. La seule précaution à prendre est de se rendre préalablement compte des talus d'équilibre du terrain à déblayer, de façon à éviter les éboulements. Ce genre d'accident, indépendamment des malheurs qu'il peut causer directement, interrompt l'écoulement des eaux, qui refluent dans le sol, le détrempent et facilitent de nouveaux éboulis. Le chantier est alors désorganisé; l'économie que l'on espérait faire en employant de talus un peu roides se traduit souvent en pertes considérables de temps et d'argent, d'autant plus fâcheuses qu'elles ouvrent la porte à des réclamations suivies d'indemnités pour les entrepreneurs.

555. Fondation sur un rocher compact. — Si le sol se compose d'une roche dure et peu perméable, on peut y creuser simplement le profil du radier sans le revêtir, et y asseoir directement les bajoyers; seuls, les buscs sont construits dans des encoffrements spéciaux soigneusement remplis de maçonnerie, laquelle devra se relier intimement au rocher et faire corps avec lui.

556. Fondation dans une roche tendre. — Dans le cas où la roche serait trop tendre pour supporter le choc de l'eau qui s'échappe des ventelles, on la creuserait assez pour y établir un revêtement maçonné, auquel on donnerait la forme d'une voûte renversée, pour éviter que les pierres soient soulevées

par la sous-pression quand l'écluse est en charge. Ce revêtement s'étendrait sur toute la zone que peut attaquer le courant des vannelles, soit une dizaine de mètres au moins, en aval de chaque busc.

557. Fondation dans un gravier compact. — Si, au lieu de roche, on rencontre du sable ou du gravier, assez peu perméables pour que l'on y descende par épuisement, on établit, à la hauteur voulue, un radier général en maçonnerie ou en béton ; mais on a soin de placer en amont ou en aval des parafouilles destinés à intercepter le passage des eaux, à la jonction du sol naturel et des fondations. Cette précaution est indispensable partout où des affouillements peuvent être à craindre ; elle ne constitue même pas une dépense, parce qu'elle permet de diminuer l'épaisseur du radier une fois qu'il est ainsi protégé.

Presque toujours, le procédé de fondation par épuisement est le plus sûr, il permet de suivre de près l'ouvrage exécuté, de le voir et de le toucher, et nous estimons qu'il est bon d'y avoir recours toutes les fois qu'on le peut.

Il faut alors se prémunir contre les dangers que présentent les sources de fond, au moment où les épuisements cessent. Ces sources, en reprenant leur pression, poussent les maçonneries fraîches qu'elles tendent à pénétrer ou à disjoindre. On devra leur ménager un écoulement facile autour des maçonneries, et on ne cherchera à les étouffer, s'il y a lieu de le faire, que quand les mortiers auront pris toute leur consistance. Nous rappelons, d'ailleurs, qu'on ne doit tenter cette opération, toujours un peu dangereuse pour les ouvrages, que quand ces sources sont une déperdition bien constatée.

558. Fondation dans un terrain perméable et incompressible. — La fondation par épuisement, qui est la plus certaine et la plus commode, n'est pas toujours réalisable. Dans les grandes vallées, notamment, les terrains que l'on rencontre le plus fréquemment sont des bancs de gravier incompressibles et perméables, qui, bien que fort durs, laissent passer l'eau comme un crible.

Il est indispensable de remédier à cette perméabilité, qui non seulement serait une gêne pour la construction générale et la pose des appareils, mais encore s'opposerait à toute réparation que l'on aurait à faire plus tard, ainsi qu'à la rapidité des manœuvres de passage d'un bief à l'autre. Il faut donc un radier général, soudé aux bajoyers et formant avec eux, dans le terrain perméable, une vaste cuvette dans laquelle se rachètera la différence de niveau.

Or, on se trouve en face de sujétions plus nombreuses que lorsqu'il s'agit d'établir la fondation d'un pont. Si le poids à supporter par mètre carré est moins considérable, les maçonneries ont besoin d'être plus étanches pour résister à la sous-pression. La fouille est plus vaste, ce qui livre passage à des filtrations plus abondantes. Enfin, il faut établir des appareils sous l'étiage à une profondeur d'autant plus considérable que le tirant d'eau à réserver aux bateaux est plus grand.

Les écluses antérieures à ce siècle, celles mêmes qui datent de ses premières années, ont été fondées dans un batardeau d'enceinte formé d'une double ligne de pieux et palplanches, contenant un remblai en terre argileuse et circonscrivant la fouille totale. Dans cette enceinte, on descendait en forçant les épuisements jusqu'au niveau que l'on s'était proposé d'atteindre, et l'on construisait le radier. Les difficultés étaient grandes, les accidents nombreux, et la durée du travail était subordonnée à toutes les éventualités que présentent les variations de régime des rivières.

L'usage de plus en plus fréquent des chaux hydrauliques et du béton a permis l'emploi d'un procédé plus économique, plus rapide, et presque aussi sûr.

On circonscrit la fouille dans une enceinte de pieux et palplanches, et on enlève à la machine à draguer la couche de gravier qui doit être remplacée par les maçonneries de l'écluse.

Dans l'enceinte, on coule la couche de béton destinée à former le radier général ; puis, sur tout le pourtour, entre la file de pieux et palplanches et un vannage spécial que l'on ajuste sur des piquets en bois ou en fer enfoncés quelque peu dans le béton déjà en place, on coule un bourrelet s'élevant à un mètre

environ au-dessus de l'étiage. On constitue ainsi, dans tout le périmètre de la fouille, les bords d'un vase étanche dont le radier général est le fond. Lorsque ce béton a fait prise, on épuise le vase, et la construction s'y achève à l'abri des eaux. Si une crue inattendue vient à envahir la cuvette ainsi formée, il suffira de la vider pour reprendre les travaux, ce qui s'obtiendra promptement, aussitôt que le niveau de la rivière sera descendu jusqu'à l'arête des bourrelets.

Ces bourrelets eux-mêmes sont ultérieurement amenés à vif, taillés à redents et incorporés aux bajoyers dont ils se trouvent ainsi faire partie à titre définitif. Il ne sera pas inutile, toutefois, de faire remarquer ici que la soudure à pratiquer entre ces deux maçonneries, l'une ancienne et l'autre nouvelle, a besoin d'être opérée avec le plus grand soin, si l'on veut demeurer dans l'hypothèse où l'on s'est placé pour calculer l'épaisseur du bajoyer. On a supposé, en effet, que ce mur fonctionnait comme un bloc parfaitement lié ; et s'il demeurait au sein de ce bloc une surface suivant laquelle la séparation pût s'effectuer, les conditions d'équilibre seraient absolument détruites. Il est donc essentiel que le béton des bourrelets soit de très bonne qualité et que sa liaison avec les maçonneries nouvelles ne laisse rien à désirer.

Quant à la partie des bourrelets d'amont et d'aval qu'il faut nécessairement faire disparaître, au droit du passage des bateaux, on la ruine du dedans, en l'étayant, autant que faire se peut, puis on enlève ce qui reste au scaphandre ou à la drague. Cette opération n'est pas toujours facile, mais comme elle ne s'exécute que sur un très petit nombre de mètres, on y arrive toujours dans un temps limité.

M. Malézieux attribue à M. Bommart le premier emploi de cet ingénieux procédé, pour la fondation de l'écluse de Venette sur l'Oise, en 1827.

On peut se demander, quand on attaque un travail de ce genre, quelle épaisseur il convient de donner au béton de fondation ; la question doit être envisagée au point de vue de la résistance du radier, soit pendant l'exécution, soit au moment où l'écluse est en service.

Pendant l'exécution, la face inférieure du béton est soumise

à une sous-pression mesurée par la hauteur d'eau qui la charge. Pour résister à cette sous-pression, on a le poids des maçonneries, c'est-à-dire celui du béton, bourrelets compris. Mais ces bourrelets ne chargent que les bords du radier général, en sorte que celui-ci peut être considéré comme une poutre uniformément chargée de bas en haut sur toute sa longueur, et appuyée à ses extrémités. On calculera dès lors son épaisseur ; mais, dans ce calcul, on aura soin de n'attribuer à la résistance maxima du béton, par centimètre carré, qu'une valeur de 1 kilogramme, car le béton coulé est loin d'avoir la valeur du béton pilonné. Nous ajouterons que l'assimilation d'un radier général en maçonnerie à une poutre est au moins contestable. Les mortiers n'ont pas un genre d'élasticité comparable à celle des bois et des fers, pour lesquels les formules ont été établies, et l'on ne peut pas espérer qu'un changement de coefficient suffise pour rendre ces formules applicables.

Mieux vaut, quand l'écluse n'a pas une ouverture trop considérable, donner une épaisseur suffisante pour que l'effort de soulèvement puisse se répartir dans les maçonneries comme il le ferait dans une voûte. Pour y arriver on approfondira un peu le centre de la fouille ; au milieu on coulera le béton, une moindre hauteur, et on donnera ainsi au radier une forme curviligne de voûte renversée qui agrandira la section mouillée, chose toujours avantageuse aux mouvements des bateaux.

Nous avons vu, quel que soit le calcul fait, que la sous-pression ne trouve, en opposition à son effort, que le poids des maçonneries, bourrelets compris. Or il pourrait arriver, surtout si l'on voulait diminuer l'épaisseur du béton, en lui imposant des tensions considérables par centimètre carré, que le poids de ces maçonneries fût insuffisant pour résister au soulèvement, ce qui produirait vraisemblablement des dislocations. On est ici en face d'un calcul facile à faire ; et si cette éventualité était à craindre il suffirait de charger le radier général, avant de procéder aux épuisements, des matériaux destinés à entrer plus tard dans la construction. Cet approvisionnement, sur le lieu d'emploi lui-même, n'est pas une fausse manœuvre et donnerait toute sécurité.

même temps qu'il relie tous ses supports par une sorte d'encastrement ; il peut dès lors recevoir les constructions qu'on lui destine.

Si la couche solide est à une profondeur telle que l'emploi de pieux devienne inacceptable, il faut avoir recours à l'air comprimé pour établir, soit tout l'ouvrage, soit des piliers en nombre suffisant pour le supporter. Ce procédé de construction a fait tant de progrès dans ces derniers temps, il présente tant de moyens d'arriver à une exécution rapide et soignée, que l'usage s'en répandra certainement de plus en plus. On ne peut lui reprocher qu'une chose, une fois que la question de prix est résolue, c'est d'exiger l'emploi d'un matériel coûteux et compliqué ainsi que d'un personnel expérimenté, ce qui le met nécessairement aux mains d'entrepreneurs spéciaux. L'ingénieur prend alors un rôle de surveillance plutôt qu'une action directe sur les travaux ; nous reviendrons néanmoins tout à l'heure sur ce sujet, lorsque nous aurons parlé de tous les procédés ordinaires.

560. Fondation dans un terrain compressible et imperméable. — Heureusement, les terrains compressibles et perméables sont très rares; les terrains compressibles et imperméables le sont beaucoup moins.

Ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire, à propos de la construction des quais, les dépôts marins et fluviatiles ont formé, près de l'embouchure de certains fleuves, d'immenses bancs d'argile tendre, d'une très grande puissance par places, et dont la constitution demi-dure permet l'écrasement sous des charges parfois insignifiantes. C'est une pâte molle au milieu de laquelle les fondations présentent de sérieuses difficultés. Il faut cependant aborder ces difficultés de front, car l'étendue des terrains en question est telle sur beaucoup de points, qu'on ne peut songer à s'y soustraire par un changement de tracé, comme on peut le faire souvent dans le cas infiniment plus restreint des terrains compressibles et perméables.

Lorsque la couche solide se rencontre à une distance que l'on peut atteindre avec des pieux, un des procédés consiste

à employer ce mode de fondation. Ici encore, il est sage d'empâter la tête des pieux dans le massif du radier général, afin de rendre toute la masse parfaitement solidaire. Cet encastrement des pieux, sur 1 mètre ou $1^{m},50$ de hauteur, ajoute à leur résistance et s'oppose efficacement aux déplacements d'ensemble dans le sens horizontal, déplacements que pourrait produire une différence de pression un peu considérable, de l'amont à l'aval.

La difficulté la plus sérieuse que l'on rencontre est le maintien des talus de la fouille pendant la durée des travaux. Sous l'effet d'une pluie, d'une filtration insignifiante, le terrain se ramollit, et il se produit des affaissements cycloïdaux qui bouleversent le chantier, les pieux et les travaux à demi exécutés. Si l'on a recours à des moyens de consolidation énergiques, à des étaiements par exemple, on retarde l'accident; mais il arrive un moment où, le ramollissement s'étendant jusqu'au point d'appui des étais, l'affaissement se produit et prend des proportions d'autant plus considérables qu'on a plus lutté.

En somme la meilleure chose à faire, quand la fouille ne doit pas être très profonde, est de se donner des talus très doux (2 à 3 de base pour 1 de hauteur), d'assainir le mieux possible les environs du chantier, de ne pas charger en quoi que ce soit les bords de la fouille, et surtout d'aller aussi vite que possible dans l'exécution des travaux.

Lorsque le déblai doit être plus considérable, descendre par exemple à 5 mètres et au-dessous, lorsque surtout l'influence des marées se fait sentir (les terrains qui nous occupent sont le plus souvent dans le voisinage de la mer), on est fréquemment dans l'impossibilité de réaliser les déblais par le procédé que nous venons d'indiquer. A mesure que l'on s'abaisse, les talus s'ébranlent et coulent en s'affaissant; les premiers mouvements sont suivis d'autres qui se produisent en arrière des premiers; et, de proche en proche, on voit le sol se fendre et se mouvoir jusqu'à des distances très considérables, 30, 40, 60 mètres, suivant la profondeur de l'excavation qui fait appel. Si l'on a recours aux dragages, la présence de l'eau produit le même effet en détrempant le sol, en sorte que, tant

pour le travail en lui-même que pour les constructions voisines, on est bientôt forcé de s'arrêter.

Si l'ouvrage à établir est de petite dimension, on peut s'entourer d'une enceinte de pieux jointifs que l'on étaie intérieurement les uns par les autres, et entre lesquels on descend jusqu'au sol ferme; il faut avoir soin, toutefois, de ne pas charger le terrain d'un côté plus que de l'autre, si l'on ne veut pas éprouver de déplacements latéraux de tout le système. En un mot, on ne doit jamais perdre de vue que l'on se trouve au milieu d'une masse qui participe de la nature des fluides et des solides, et qui, notamment, transmet les pressions comme un fluide, toutes les fois qu'on trouble ses conditions naturelles d'équilibre.

Si la fouille à creuser est très grande, le moyen que nous venons d'indiquer échappe, et il est nécessaire de recourir aux fondations tubulaires dont on parlera dans le volume relatif aux procédés généraux de construction. Tant que la profondeur ne dépasse pas 10 à 12 mètres, il est possible d'entourer l'ouvrage à construire de puits à ciel ouvert, maçonnés, dessinant une enceinte à l'intérieur de laquelle on effectuera les déblais par les procédés ordinaires. On opposera ainsi aux mouvements des terres coulantes une barrière aussi solide qu'on le voudra, assise sur le rocher, et qu'on incorporera ensuite dans les maçonneries de la construction pour les utiliser à titre définitif, autant que ce sera possible.

Au-dessus de 12 mètres de profondeur, les puits ordinaires deviennent d'un emploi difficile, tant à cause des frottements latéraux que du transport des déblais sous leur couronne; il convient alors de recourir à l'air comprimé pour les descendre jusqu'au rocher, ainsi qu'on le fait à présent dans le nouveau bassin à flot en construction au port de Rochefort-sur-Mer. (Voir les *Annales des Ponts-et-Chaussées*, février 1884.)

Dans tous les cas l'œuvre est difficile, délicate, et exige des soins de tous les instants. Lors donc qu'on aura à projeter dans des terrains compressibles une écluse ou toute autre grande construction, il sera sage de se guider dans le choix de l'emplacement, non seulement par des considérations commer-

ciales, mais encore par de nombreux sondages, affirmant la possibilité de l'entreprise.

561. Fondation en terrain de vase indéfinie. — Nous avons vu que l'on avait pu construire dans ces mêmes terrains des quais qui flottent en quelque sorte dans les vases et ne sont maintenus à leur place, dans ce milieu fluide, que par le frottement latéral des pieux qui les soutiennent. On pourrait être tenté d'établir d'autres ouvrages, des écluses par exemple, en s'inspirant de la même idée, et en plaçant sous chaque partie de la construction un nombre de pieux suffisant pour la supporter. Théoriquement, la chose est possible; pratiquement, nous ne pensons pas qu'elle le soit. On arriverait bien difficilement à une répartition convenable des charges; il s'ensuivrait des tassements auxquels une écluse est incapable de résister, et que des quais peuvent mieux tolérer, dans une certaine mesure au moins. Tout au plus la chose serait-elle réalisable pour une petite écluse, assise sur une très solide plateforme que de puissantes liaisons rendraient inflexible dans tous les sens; mais, en thèse générale, une écluse de quelque importance nous semble ne pas pouvoir être placée avec sécurité dans des terrains compressibles d'une hauteur assez grande pour que les maçonneries ne puissent pas s'appuyer sur le rocher, soit directement, soit par l'intermédiaire de pieux[1].

1. On cite cependant, au-dessus des houillères en exploitation dans le Nord et le Pas-de-Calais, des écluses qui ont éprouvé des tassements d'ensemble assez considérables, sans cesser d'être utilisées. Nous nous garderons bien de contester ce fait ; mais de ce que, dans ce cas particulier, les maçonneries ont pu suivre sans se disloquer un mouvement général du terrain, dû à une cause étrangère, on ne peut conclure que les choses se passeraient de même pour un ouvrage écrasant le sol qui le supporte.

§ 11

USAGE DE L'AIR COMPRIMÉ POUR LES FONDATIONS.

Nous ne sortirons pas de notre sujet en citant quelques applications de l'air comprimé à l'établissement de fondations d'ouvrages hydrauliques, datant de ces dernières années. Ce procédé, dont l'emploi se généralise chaque jour, met à la disposition de l'ingénieur des ressources précieuses, qu'il est utile de connaître.

562. Formes de radoub de la darse Missiessy à Toulon. — La plus importante de ces applications, à notre connaissance, a été réalisée à Toulon pour la construction de deux formes de radoub dans la darse de Missiessy.

Ces deux formes ont 123 mètres de longueur utile, $35^{m},55$ de largeur, et le seuil d'entrée est à $9^{m},40$ au-dessous des plus basses mers. Avec une épaisseur de radier de 7 mètres, les fondations se trouvent ainsi établies à $18^{m},10$ au-dessous des plus hautes marées.

Chacun de ces ouvrages a été construit à sec, dans un grand caisson en tôle, à fond rigide et plat, s'immergeant à mesure de l'exécution des maçonneries, et amené à flot préalablement, dans l'emplacement qui lui avait été assigné. Cet immense caisson ou chaland, long de 144 mètres, large de 41, devait reposer finalement d'une manière uniforme sur le terrain solide ; et, pour y arriver sûrement, il était muni, à sa partie inférieure, d'une chambre de travail de $1^{m},90$ de hauteur, grâce à laquelle on pouvait, en temps opportun, visiter le sol au moyen de l'air comprimé, enlever les vases que le dragage aurait laissées, et disposer le béton de fondation, qui, plus tard, a rempli la chambre de travail, servant ainsi de base à toute la construction.

La partie inférieure du caisson, comprenant la chambre de travail, avait 7 mètres de hauteur et constituait une seule pièce rigide, du poids de 1850 tonnes, puissamment reliée par des poutres à croisillons transversales, et par une armature du même genre, renforçant la tôle de pourtour. Les pièces transversales soutenaient le plafond de la chambre de travail, et se prolongeaient même, sous forme de cloisons étanches, à travers cette chambre qu'elles divisaient en dix-huit compartiments distincts. On avait ainsi, à la base, un système très puissant et très rigide embrassant la maçonnerie du radier, dans laquelle devaient être empâtées toutes les armatures; puis, lorsque l'immersion atteindrait la hauteur de 7 mètres, les bords du caisson seraient relevés sur 12 mètres de hauteur, au fur et à mesure de son enfoncement, à l'aide de hausses en tôle, s'étageant les unes sur les autres, et s'appuyant tant sur des consoles spéciales que sur les maçonneries en cours d'exécution.

Du côté de l'entrée de la forme, la paroi était faite d'un batardeau facilement démontable, et qui devait disparaître rapidement, une fois les travaux terminés.

La fouille avait été ouverte à la drague jusqu'au terrain solide, et le caisson n'eut à traverser que de l'eau sur presque tout son trajet vertical; la première difficulté était donc d'assurer la descente régulière et uniforme de cette surface de 5,900 mètres carrés, non seulement sans qu'une extrémité marchât plus vite que l'autre; mais encore sans que les pressions énormes qui s'exerçaient sur les pièces, amenassent des déformations. Pour y arriver, ou se servit des approvisionnements que l'on disposa comme lest volant, aux emplacements utiles; puis on construisit les maçonneries, non d'une façon continue et par masses, mais par portions isolées, distribuant les poids favorablement aux résistances. Le succès couronna les soins minutieux avec lesquels l'opération fut dirigée; car les plus grandes différences de niveau constatées n'atteignirent jamais 10 cent., et se tinrent en moyenne vers 3 ou 4 centimètres.

Dès que le caisson toucha le sol par un point, l'air comprimé fut envoyé dans la chambre de travail, un lest supplémentaire

fut ajouté pour compenser le nouveau déplacement qui en résultait; et, une fois les couteaux appuyés, les compartiments de la chambre de travail furent remplis de béton, deux par deux, en choisissant chaque couple symétriquement à l'axe.

Le prix de chaque caisson mis en place était fixé à deux millions, à forfait. En outre, l'entrepreneur, M. Hersent, qui avait proposé le mode d'exécution que nous venons de décrire sommairement, recevait les prix prévus par unité pour le même ouvrage supposé fait à l'abri d'un batardeau.

La durée du travail a été de trois ans et demi pour chaque forme.

Ces renseignements ont été puisés dans un mémoire de M. l'inspecteur général Voisin-Bey, lu à la société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Après cet exemple, qui constitue une des applications les plus considérables qui aient été faites de l'emploi des caissons et de l'air comprimé, nous citerons la construction de déversoirs à deux des barrages mobiles de la Haute-Seine, les barrages d'Evry et du Coudray. Il s'agissait là d'établir à côté des anciens ouvrages, et immédiatement en amont, en lit de rivière, deux nouveaux déversoirs, sans interrompre la navigation et sans gêner le passage des crues.

563. Barrage d'Evry. — Le déversoir d'Evry a une longueur totale de 67^{m},30; il a été fondé à 6^{m},81 sous l'eau, en deux parties à peu près égales, construites successivement, presque bout à bout, et raccordées ensuite par des maçonneries faites au moyen des procédés ordinaires, c'est-à-dire sans air comprimé. Les caissons dont on s'est servi avaient de 32 à 33 mètres de longueur, 7 mètres de largeur et 7^{m},40 de hauteur. Chacun d'eux était composé de deux parties distinctes; l'une, inférieure, était destinée à rester empâtée dans les fondations, elle avait 4^{m},80 de hauteur, et comprenait une chambre de travail de 1^{m},60 sous plafond. Ensuite venait la partie supérieure, composée de hausses mobiles de 2^{m},60, dont le rôle était simplement de former batardeau au-dessus du radier. Ces deux parties étaient réunies au moyen de deux cornières fixées, l'une au-dessus du caisson proprement dit,

l'autre au-dessous des hausses; des boulons assemblaient ces cornières, avec interposition d'une lame en carton goudronné, destinée à procurer l'étanchéité du joint.

Chaque caisson a été monté sur un plancher en bois, supporté par un échafaudage en rivière; puis, à l'aide de vérins supérieurs, on l'a amené à sa position définitive, et chargé par la construction des maçonneries de la partie du radier qui repose sur la chambre de travail. Ici, toutefois, comme le poids de ces maçonneries, limité par l'épaisseur du radier à construire, ne suffisait pas à amener le caisson à fond, on a dû user d'une charge supplémentaire en sable et moellons, grâce à laquelle le couteau est venu s'appuyer sur le terrain solide. On a alors rempli la chambre de travail avec du béton de meulière cassée et de mortier à chaux du Teil. Le bourrage, entre la partie supérieure du béton et le dessous des portes, s'est effectué avec un coulis de ciment de Pórtland, par un procédé analogue à celui qu'a recommandé M. Séjourné dans son article sur les fondations du pont de Marmande. (*Annales* de 1883, 1er semestre).

La base ainsi réalisée, l'appareil du radier, les culées, et les organes mobiles se sont établis à l'abri des hausses, que consolidaient des madriers transversaux; puis, le travail achevé, les boulons, qui réunissaient les hausses au caisson proprement dit, ont été enlevés; et enfin les vérins supérieurs ont détaché ces hausses, lesquelles ont laissé à découvert chaque tronçon de barrage, au complet.

Restait à raccorder ces deux tronçons tant entre eux qu'avec les anciennes maçonneries aux abords. Pour y arriver, dans chaque espace à remplir, on a dragué en s'aidant de vannages appuyés contre les parements d'amont et d'aval des caissons ou des ouvrages existants; puis, au fond de la fouille, on a placé un béton composé d'une partie de pierres cassées à l'anneau de $0^m,02$ et de deux parties de mortier de ciment. Ce béton était placé dans des sacs, qu'un plongeur vidait sur place, en damant les matières et en pressant contre les parois. On a ainsi rempli la fondation jusqu'au niveau des pierres d'appareil du radier; puis, entre cette fondation et les vannages circonscrivant le raccordement, on a épuisé et cons-

truit à l'air libre les maçonneries. Cette opération n'a pas toujours été facile, elle a donné lieu à quelques fausses manœuvres; mais, en somme, elle a bien réussi, et notamment le béton de ciment fait au scaphandre s'est montré parfaitement étanche.

Le prix du mètre cube de maçonnerie a été de 110 francs, se décomposant comme il suit :

Fournitures des caissons	31 fr.
Exécution des maçonneries	30
Main d'œuvre de fonçage et d'extraction des déblais	18
Fonctionnement des machines	8
Faux frais, échafaudages et bénéfice de l'entrepren^{r}.	23
Total	110 fr.

Il y a toutefois une observation à faire au sujet de ce prix du mètre cube, c'est qu'il n'est pas comparable à celui qui ressort des entreprises de fondation des ponts à l'air comprimé. Pour les ponts, en effet, les maçonneries à l'air comprimé sont payées au tarif élevé jusqu'à $0^{m},40$ ou $0^{m},50$ au-dessus de l'étiage ou de la retenue, tandis que, dans les barrages qui nous occupent, ces maçonneries s'arrêtent à $2^{m},20$ au-dessous du niveau des eaux. Il s'ensuit que, dans ce dernier cas, les dépenses du caisson, du fonçage, ainsi que tous les faux frais de l'entreprise se répartissent sur une quantité de maçonnerie moindre que dans le premier cas ; et le prix de revient par mètre cube, s'en accroît beaucoup. Si, au lieu d'être en partie vides, les caissons avaient dû être remplis, comme ils le sont dans les piles des ponts, le prix du mètre cube n'eût été que de 80 francs au lieu de 110 francs.

564. Modifications au système de fondation à l'air comprimé. — Dans les deux exemples que nous venons de citer, on a vu se reproduire le procédé général de fondation à l'air comprimé. C'est toujours une chambre de travail que l'on fait pénétrer jusqu'au terrain incompressible, dont le plafond est chargé de maçonnerie, et que l'on remplit une fois la descente terminée. On achève ainsi la fondation par sa couche inférieure de façon à faire reposer tout le système, non seule-

ment par le pourtour et les cloisons (s'il y en a), mais encore par toute la surface de la base. Cette manière de faire peu. présenter parfois des inconvénients, notamment lorsque les fondations ont à supporter une lourde charge, ou quand elles n'ont qu'une faible épaisseur.

D'abord, le remplissage de la chambre de travail est une opération délicate et laborieuse. Il est difficile que le bourrage soit assez énergique pour que la maçonnerie ait la même compression, et par suite la même résistance que celle qui, édifiée par les procédés ordinaires, supporte le poids des assises supérieures. De ce fait, donc, on peut craindre que lorsque la charge deviendra très forte, les couteaux ne fasse un certain mouvement pour y céder, et que le dessus n'éprou un tassement.

En outre, pendant la descente du système, les poutres plafond de la chambre de travail sont soumises à des effor variés, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et peuvent déformer. La maçonnerie qui les enveloppe se trouve, d'ai leurs, divisée par les joints continus qu'elles y constituent ; l'on conçoit que, dans les efforts communs d'un métal éla tique et d'une maçonnerie rigide, il puisse y avoir des dis jonctions et des dislocations, surtout si le massif superposé à la chambre de travail est peu épais.

Il y a donc intérêt, dans certains cas, à faire descendre le caisson à la profondeur voulue à l'aide d'un lest suffisant, et en utilisant la chambre de travail à l'extraction des déblais, puis, une fois les couteaux appuyés sur le terrain solide, à modifier le procédé de construction.

Si le terrain sur lequel les couteaux se sont arrêtés est assez imperméable pour empêcher la rentrée des eaux, on peut enlever le plafond de la chambre de travail, et maçonner dans le caisson comme dans un vaste puits, en se servant de sa paroi comme d'un batardeau.

Si le terrain inférieur n'est pas imperméable, rien n'empêche de construire sur le sol un radier général, d'une épaisseur suffisante pour arrêter les filtrations, puis lorsque ce radier a fait prise d'enlever le plafond de la chambre de travail. On se trouve alors dans le cas précédent.

Enfin, on peut même, après avoir posé ce radier général, soulever un peu le caisson, construire une nouvelle assise, le soulever à nouveau, et monter ainsi les maçonneries dans l'air comprimé, mais à des pressions décroissantes à mesure que s'élève le caisson. Celui-ci fonctionne alors comme une cloche à plongeur mobile, qui ne refoulerait l'eau que de la quantité suffisante à découvrir l'assise sur laquelle on a à travailler, au fur et à mesure que la construction s'élève. L'ouvrage terminé, le caisson peut être enlevé et utilisé à d'autres fondations, tandis que, de la base au sommet, les maçonneries sont homogènes et sans aucune interposition de pièces métalliques. C'est à l'aide de ce système de caissons mobiles qu'a été fondé le déversoir du Coudray.

565. Barrage du Coudray. — Ce déversoir a une longueur totale de 79m,29, une largeur de 7 mètres et une épaisseur *maxima* de 3m,54. Il a été exécuté dans une profondeur de 5m,60, sur un sol de fondation très inégale, constitué de rocher compact, de rocher fissuré, et, sur la moitié de la surface, de sables et de graviers mélangés de blocs siliceux ou calcaires.

La construction s'est faite en quatre tronçons successifs placés bout à bout, et presque juxtaposés par leurs extrémités. Le caisson mobile unique dont on s'est servi pour les quatre tronçons avait une longueur de 20 mètres, une hauteur de 6m,08, et une largeur de 7m,80. Sa forme était rectangulaire, et ses quatre parois étaient constituées par des poutres verticales en fer à double T, reliées par des entretoises horizontales, et par un bordé en tôle. Au milieu de la hauteur se trouvait un plancher amovible, dont les poutres horizontales étaient boulonnées sur des consoles fixées au contreventement vertical. Ce plancher séparait le caisson en deux parties, l'une inférieure, qui était la chambre de travail et avait 2m,60 de hauteur ; l'autre, supérieure, qui formait batardeau pendant le fonçage, et était consolidée par des fermes transversales. Des colliers, solidement attachés à l'extérieur des entretoises verticales de la carcasse, permettaient de soutenir et de soulever le caisson, à l'aide de tiges terminées par des vérins et

d'un échafaudage en charpente. Le poids de l'appareil, cheminées comprises, était de 120 tonnes.

Le fonçage s'est opéré au moyen d'un lest suffisant en sable et en gueuses de fonte ; puis, une fois la fondation atteinte et les premières assises construites, en diminuant le lest, en forçant la compression de l'air, et en utilisant tantôt les vérins extérieurs, tantôt les vérins intérieurs appuyés sur la maçonnerie, on a pu arracher le caisson à son assiette primitive, et le soulever successivement à mesure que la construction montait, ainsi que nous l'avons indiqué tout à l'heure. L'effort d'arrachage du caisson, d'après d'assez nombreuses expériences, faites en dehors des barrages de la Seine, est, dans le sable fin, argileux et fluide, à peu près les 60 centièmes du poids qui produit le fonçage, pour une même surface latérale encastrée ; dans le gravier, cet effort varie des 30 aux 60 centièmes du poids qui détermine le fonçage, le coefficient le plus faible étant applicable à la plus grande profondeur expérimentée, soit 10 mètres.

Sur les quatre tronçons, trois ont été construits par ce système de soulèvement successif, et le quatrième a pu, après pose d'un radier général dans l'air comprimé, être achevé à l'air libre, par l'enlèvement pur et simple du plafond de la chambre de travail. Là, comme dans les autres opérations, le caisson a été arraché du sol à l'aide de vérins, et emporté pour une nouvelle utilisation. Le raccordement des tronçons s'est fait par le même procédé qu'au barrage d'Evry.

Quant au prix du mètre cube de maçonnerie, il a été plus considérable que dans l'exemple précédent, à cause d'une moindre quantité de maçonnerie par mètre courant ; il a été de 148 francs et se décompose ainsi :

Fourniture du caisson	24 fr.
Exécution des maçonneries	30
Main d'œuvre de fonçage et d'extraction des déblais	27
Fonctionnement des machines	19
Faux frais, échafaudages et bénéfice de l'entrepren^{r}.	48
Total.	148 fr.

Si le caisson avait été rempli jusqu'au niveau de la retenue, le prix comparable à celui de la fondation des ponts eût été de 91 francs.

566. Temps consacré aux opérations de fondation à l'air comprimé. — Au barrage d'Evry, l'opération a duré pour chaque grande caissonnée, 70 jours en moyenne. On a maçonné pendant 53 jours, et déblayé pendant 19 ; le montage du caisson avait exigé préalablement 23 jours; et c'est pendant 16 jours qu'il a fallu manœuvrer la charge artificielle qui réglait le fonçage.

Au barrage du Coudray, il a fallu 80 jours par caissonnée, dont 39 consacrés à la maçonnerie, 18 aux déblais, et 23 aux manœuvres du lest et du caisson.

Tel est le compte rendu sommaire de ces deux intéressantes opérations, d'après les documents qui nous ont été communiqués par M. l'ingénieur Lavollée, lequel en a surveillé et dirigé l'exécution [1]. L'entrepreneur était M. Montagnier, bien connu par de nombreux travaux de ce genre, et auquel on doit la conception heureuse du caisson batardeau et du caisson mobile. Avec ce procédé, il devient souvent possible de s'affranchir de la sujétion du fer incorporé dans les maçonneries; et, dans certains cas, on peut réduire notablement la durée du travail dans l'air comprimé, lequel est toujours une grande gêne.

567. Autres applications possibles de l'air comprimé. — En dehors de ces grandes applications de l'air comprimé, il ne nous paraît pas douteux que l'emploi de ce procédé aussi commode que sûr, lorsqu'il se sera généralisé, ne s'utilise à nombre d'opérations journalières, aujourd'hui peu faciles ou longues. M. Montagnier, dont nous venons de parler, s'en est déjà servi avec succès pour des démolitions sous l'eau, pour des sondages, pour la pose de crapaudines, etc. ; on en tirerait encore un excellent parti pour beaucoup d'autres travaux ; et

1. M. Lavollée a publié une notice complète, avec dessins, sur ces travaux. On la trouvera dans les *Annales des ponts et chaussées* de septembre 1884.

notamment pour le remplacement ou la réparation des organes mobiles des barrages. Ces organes, en effet, d'un modèle uniforme et régulièrement placés, seraient facilement enveloppés par un petit caisson qui permettrait économiquement la visite successive, l'entretien et le remplacement, le cas échéant, des pièces adhérentes au radier, sans gêner en quoi que ce soit la navigation.

Il y a là une ressource précieuse que nous devions signaler à l'attention ; et c'est dans ce but que nous avons tenu à rendre compte de quelques applications du système de l'air comprimé à la fondation des ouvrages hydrauliques. Les procédés sont analogues, il est vrai, à ceux qui ont été employés pour la fondation des ponts et que l'on trouvera aux *Annales des Ponts et chaussées*; mais il est différent par quelques points, et notamment par des sujétions spéciales qu'il n'était pas inutile de faire ressortir.

CHAPITRE XXII

DÉRIVATIONS ÉCLUSÉES

SOMMAIRE :

§ 1er. *Positions respectives des parties dont se compose une retenue d'eau.* — 568. Positions que peut occuper l'écluse. — 569. Ecluse placée en rivière. — 570. Barrage oblique. — 571. Barrage placé à l'amont de l'écluse. — 572. Barrage placé à l'aval de l'écluse. — 573. Causes qui amènent à projeter une dérivation.

§ 2. *Dispositions générales d'une dérivation.* — 574. Profil en travers. — 575. Tracé. — 576. Profil en long. — 577. Position de l'écluse. — 578. Écluse de garde.

§ 3. *Ponts sur les dérivations.* — 579. Nécessité de rétablir les communications. — 580. Hauteur libre à laisser sous les ponts. — 581. Dimension de la section rétrécie pour le passage d'un seul bateau. — 582. Section rétrécie, mais permettant le passage de deux bateaux. — 583. Ouvrages accessoires qu'imposent les rétrécissements. — 584. Conclusion en matière de rétrécissement des ponts. — 585. Points où l'on peut rester dans le provisoire. — 586. Conditions réclamées par la navigation au sujet des ponts. — 587. Inconvénients des ponts en métal et maçonnerie. — 588. Avantages des ponts en fer et bois. — 589. Des ponts mobiles.

§ 4. *Résumé sur les dérivations.* — 590.

Figure :

Écluse de garde, art. 578.

Petites planches :

Dérivation de Fépin, art. 575. — Pont mobile; type économique, art. 589.

§ Ier

POSITIONS RESPECTIVES DES PARTIES

DONT SE COMPOSE UNE RETENUE D'EAU

568. Positions que peut occuper l'écluse. — Nous avons vu successivement les trois parties dont se compose une retenue d'eau, le pertuis, le déversoir et l'écluse; il nous reste à parler de leurs positions respectives.

Le pertuis et le déversoir sont nécessairement placés sur le

cours d'eau même, mais il n'en est pas de même de l'écluse. Celle-ci peut être accolée au barrage, et comme lui en lit de rivière, ou bien elle peut être placée sur une dérivation.

569. Ecluse placée en rivière. — Quand les fondations en lit de rivière sont faciles, quand le remous produit par le barrage inférieur est suffisant pour donner sur le busc aval de l'écluse le tirant d'eau voulu, et qu'aucun seuil intermédiaire dans le bief ne vient gêner la navigation, on réunit tous les ouvrages hydrauliques ensemble en plaçant l'écluse sur la rive du halage, le déversoir sur la rive opposée, et le pertuis dans le thalweg. Ce groupement donne, en général, lorsque les conditions que nous avons énoncées sont remplies, la construction la plus économique, et se prête mieux que tout autre à l'établissement d'une chaîne de touage, ce qui est toujours à considérer dans les habitudes actuelles de la navigation fluviale.

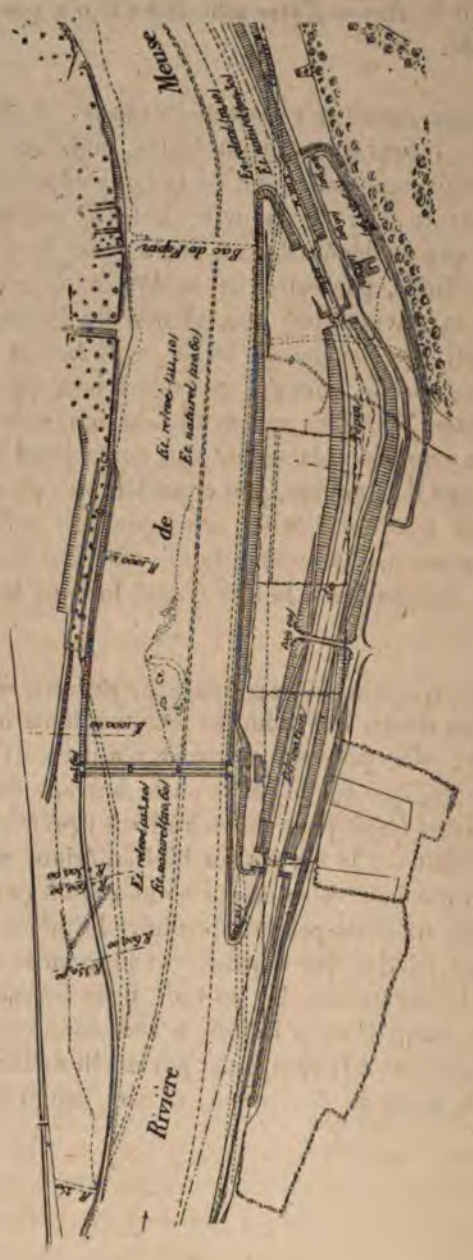
570. Barrage oblique. — L'écluse doit évidemment être dans la direction même du cours d'eau ; le barrage, au contraire, peut être perpendiculaire ou oblique à cette direction. Cette seconde disposition pourrait avoir certains avantages pour l'établissement d'un barrage fixe ; mais, avec des barrages mobiles il n'y a aucune raison pour troubler inutilement le régime de la rivière, et il est préférable de se placer normalement au courant, en se réservant la possibilité d'user des engins de manœuvre pour diriger les eaux à un moment donné sur la partie du lit où l'on trouve avantage à les jeter ; le barrage sera donc, en général, normal à l'écluse. Reste à apprécier, surtout avec des sas de 180 mètres comme ceux de la haute Seine et de l'Yonne, s'il doit être placé à la tête d'amont ou à celle d'aval.

571. Barrage placé à l'amont de l'écluse. — Le barrage placé à la tête d'amont a l'inconvénient de créer, à côté de l'écluse et à son entrée, un courant latéral d'appel qui peut avoir des dangers pour les bateaux du bief d'amont ; la lame déversante, en outre, longe le bajoyer dans toute sa longueur,

et lui fait courir le risque d'être affouillé s'il n'a pas été très solidement fondé.

572. Barrage placé à l'aval de l'écluse. — A la tête d'aval, ces deux inconvénients sont évités, mais les remours qu'y forme le voisinage immédiat de la lame déversante sont une cause constante d'avaries pour les bateaux qui sont jetés à la rive, ainsi que de dépôts devant l'écluse sur leur passage même. Il est difficile, par suite, de se décider à priori, et il faut envisager la navigabilité aux abords du barrage pour prendre un parti; les courbes de la berge, le halage plus ou moins facile aux abords, sont des considérations qui peuvent être déterminantes. Toutefois, en cas d'hésitation, nous aurions une préférence pour l'emplacement qui correspond à la tête d'amont parce que les dangers, peu considérables du reste, de cette disposition peuvent s'éviter avec quelques précautions et notamment avec une estacade; tandis que les remous ou les dépôts sont inévitables à la tête d'aval lorsque le barrage la touche.

573. Causes qui amènent à projeter des dérivations. — Les écluses en rivière ont donc des inconvénients inhérents à leur position; elles peuvent en avoir d'autres. Il peut se faire, par exemple, que sur le point où le barrage doit s'établir, le lit soit assez étroit pour qu'on hésite à y prendre encore la largeur de l'écluse; le niveau du bief inférieur peut être solidaire du jeu d'usines voisines qui s'opposent à ce qu'on le relève, des seuils naturels peuvent produire le même effet, le cours d'eau peut décrire une courbe très prononcée qu'il est bon d'éviter à la navigation. En un mot, il se trouve des cas nombreux dans lesquels on a intérêt à abandonner le lit naturel du cours d'eau et à le remplacer par un lit artificiel latéral qui prend le nom de dérivation, et sur lequel on place l'écluse.



DÉRIVATION DE FÉPIN

§ II

DISPOSITIONS GÉNÉRALES D'UNE DÉRIVATION

574. Profil en travers d'une dérivation. — Le profil en travers d'une dérivation se règle par les considérations suivantes :

Le plafond s'établit à telle hauteur au-dessous du niveau normal de la retenue que les bateaux y trouvent, au minimum, une profondeur dépassant de $0^m,30$ à $0^m,50$ le tirant d'eau des bateaux les plus chargés. On lui donne une largeur double de celle d'un bateau, afin de rendre les croisements faciles.

Les talus sont ordinairement réglés à $1^m,50$ de base sur 1 de hauteur; mais cette inclinaison se détermine, dans chaque cas particulier, par la résistance qu'offre le sol aux érosions. Ils se prolongent sur chaque rive jusqu'un peu au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables de la rivière.

Là prennent place, d'un côté, un chemin de halage de 4 mètres de largeur, continuant si faire se peut celui de la rivière; et de l'autre côté un chemin de contre-halage ayant au moins 2 mètres, ou mieux 4 mètres comme le chemin de halage.

En arrière de ces deux chemins, on utilise les déblais de la fouille à construire deux cavaliers, assez élevés au-dessus du sol pour rendre la dérivation insubmersible. On conçoit, en effet, que si, arrivées à une certaine hauteur, les crues envahissaient tout à coup par déversement la dérivation, elles causeraient aux talus les plus graves avaries, et rendraient critique la situation des bateaux qui s'y réfugient dans ces moments. La revanche que l'on donne d'habitude au-dessus des plus hautes eaux connues est de 1 mètre, afin de faire face à l'action des lames et à l'imprévu, toujours à craindre en matière d'inondations.

575. Tracé d'une dérivation. — Le tracé d'une dérivation, quand elle est longue, obéit aux mêmes lois que celui d'un canal, et nous renvoyons à ce que nous dirons plus tard à ce sujet. Quand elle est courte, son tracé est toujours à peu près commandé, en sorte que nous n'aurions pas à en parler, s'il n'y avait la question de l'entrée, laquelle prend une importance réelle, en raison du changement qui s'ensuit parfois pour le mode de navigation.

On peut orienter le bras artificiel comme s'orientent d'habitude les bras naturels, et comme le montre la figure ci-dessus, c'est-à-dire en continuation du lit principal, suivant une direction plus ou moins oblique. C'est le cas le plus général, et il s'applique avec avantage quand le mode de navigation n'a pas besoin de se modifier pour passer du cours d'eau à la dérivation. Le halage y suit une courbe à grand rayon, les bateaux également, et le touage peut s'y pratiquer aisément. Toutefois, pendant les crues, les eaux troubles de la rivière viennent perdre leur vitesse à l'entrée de la dérivation, et y occasionnent des dépôts dont le curage doit être incessant.

Le tracé peut encore, au lieu de continuer la direction d[u] cours d'eau, dessiner un rebroussement en sens contraire d[e] cette direction, sauf à la reprendre peu après, par une courb[e] parcourue en eau tranquille. Un raccordement de ce genr[e] est avantageux lorsque la navigation est amenée, par les ci[r]constances locales, à subir un arrêt avant d'entrer dans la dérivation. Pendant cet arrêt, les bateaux s'évitent nécessairement au courant, et lorsqu'ils repartent, ils se trouvent orientés. Cette solution convient donc principalement à la partie maritime des rivières, où les bateaux, marchant le plus souvent sur le cours d'eau principal à la dérive ou la voile, ne prennent un moteur que pour le passage de la dérivation. Ils ont besoin alors, au moins au départ, d'une précision de manœuvre que la navigation à contre-courant permet bien mieux que celle qui suit le courant. C'est ainsi qu'a été tracée l'entrée du canal Saint-Louis, allant du Rhône au golfe de Foz.

Sur d'autres points, et notamment au canal d'Arles à Bouc, on a adopté une solution intermédiaire, en plaçant l'entrée de la dérivation perpendiculairement au cours d'eau ; le passage

alors présenterait quelque difficulté dans les deux sens, si l'on n'avait la précaution de ménager à l'entrée un élargissement où les évolutions puissent se faire en eau morte. Avec cette précaution le danger disparaît, mais l'inconvénient des dépôts subsiste et est d'autant plus grand que l'élargissement est plus considérable. Cette orientation normale s'impose d'ailleurs, dans la partie maritime des rivières tombant dans les mers à marée, car les courants alternatifs du flot et du jusant y exigent une position moyenne qu'on ne peut obtenir qu'en se plaçant perpendiculairement à la rive.

En résumé, le tracé du raccordement d'une dérivation avec le cours d'eau qu'elle supplée, dépend surtout du genre de circulation qui s'y pratiquera. Presque partout, dans l'intérieur des terres, son embouchure s'oriente suivant la direction du cours d'eau ; ce n'est guère que sur les côtes et pour répondre aux exigences d'une navigation à la fois fluviale et maritime, qu'il y a lieu de modifier cet usage en s'inspirant, d'ailleurs, des habitudes locales et des besoins spéciaux des bateaux marins qui fréquentent la côte.

526. Profil en long d'une dérivation. — Le profil en long d'une dérivation peut être envisagé au double point de vue du plafond ou de la ligne des eaux.

La ligne des eaux est généralement fixée par la hauteur de la retenue du barrage qui règle le niveau du bief où commence la dérivation. On concevrait à la rigueur l'absence de barrage, mais alors la dérivation subirait toutes les variations de hauteur du cours d'eau ; elle devrait être, par suite, beaucoup plus profonde et le halage s'y opérerait dans des conditions défavorables ; on doit donc admettre la co-existence d'un barrage régulateur, et la ligne des eaux variera entre la tenue normale du bief à celle des plus hautes eaux navigables.

Quant au plafond, il est convenable de le creuser au-dessous de ce qui est nécessaire à la navigation, pour loger les dépôts qui ne peuvent manquer de s'effectuer dans les eaux tranquilles. On lui donne d'ailleurs une certaine pente, 1 millim. par mètre par exemple, de façon à pouvoir y introduire un léger courant qui y opère des chasses lorsqu'on ouvrira les

ventelles des portes. Quand la chute de l'écluse est très faible, on peut à la rigueur ouvrir les portes elles-mêmes à l'aide d'un jeu de poutrelles que l'on retire ensuite, et la chasse se pratique librement. Il faut toutefois, pour se permettre ce moyen de curage, que l'on soit assuré de ne pas donner naissance à un courant susceptible de causer des dommages, c'est-à-dire de produire une vitesse qui dépasse sensiblement 1 mètre.

577. Position de l'écluse dans une dérivation. — Où doit être placée l'écluse à sas qui dessert une dérivation?

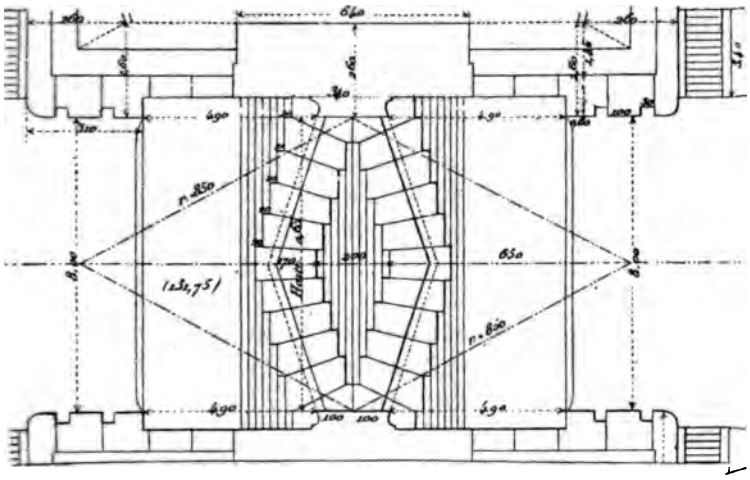
Placée à l'aval, cette écluse permet au bief d'amont de s'étendre sur toute l'étendue de la dérivation et diminue d'autant les déblais; elle est à l'abri des dépôts les plus considérables, qui s'effectuent toujours vers l'entrée; elle est suffisamment protégée contre les envasements par le courant artificiel que produisent les ventelles. Cette triple raison a presque toujours été déterminante pour le choix de la tête aval de la dérivation.

Toutefois il est nécessaire, avons-nous dit, que les dérivations soient insubmersibles; si l'on place l'écluse à l'entrée, il devient possible de surhausser la tête et les portes d'amont, de les rattacher aux digues de protection, et de couvrir ainsi, sans ouvrage nouveau, la dérivation contre les inondations. C'est le procédé qu'on choisit quand la dérivation est très courte.

578. Écluse de garde. — Lorsqu'elle est longue, au contraire, c'est-à-dire quand l'économie à réaliser en ménageant les déblais justifie la création d'un ouvrage spécial contre les inondations, on place, ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'écluse à sas à l'aval, et en tête une écluse de garde. Cette écluse de garde consiste en une paire de portes busquées vers l'amont, que l'on ferme quand la rivière dépasse la limite des hautes eaux navigables et qui empêche ainsi l'introduction des fortes crues.

Souvent on donne à l'écluse de garde deux paires de portes en sens contraire; alors la dérivation est à l'abri, non seule-

ment des eaux trop hautes, mais encore des eaux trop basses, puisque par un jeu convenable des portes, on peut maintenir le bras artificiel plein quand la rivière se vide. Cette précaution n'est pas inutile quand on est obligé d'abaisser les biefs naturels pour des réparations ou pour laisser passer, par exemple, des glaces flottantes. Les bateaux entrent alors dans



la dérivation comme dans un port de refuge et y sont à l'abri de ces éventualités.

Lorsque l'on construit des écluses de garde, les portes n'ont pas besoin de ventelles, mais il est toujours sage de ménager des aqueducs au travers des bajoyers, afin de pouvoir créer les chasses dont nous avons parlé plus haut, au moment des eaux abondantes.

PONTS SUR LES DÉRIVATIONS

579. Nécessité de rétablir les communications. — Les dérivations dessinent, avec le cours d'eau principal, des îles dont il faut assurer les communications avec les propriétés voisines, en rétablissant les chemins interceptés. Pour peu qu'elles soient longues, elles comportent donc la construction d'un certain nombre de ponts, en dehors de celui qui trouve naturellement sa place sur l'écluse, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

580. Hauteur libre à laisser sous les ponts. — Ces ponts, s'ils sont fixes, doivent laisser, sous leur tablier, un passage à un rectangle ayant pour largeur la largeur du plafond de la dérivation en ce point, et une hauteur variable avec la nature de la voie d'eau traversée. Cette hauteur est, ainsi que nous l'avons dit, de $3^m,70$, pour les cours d'eau dont les écluses ont $5^m,20$ d'ouverture, aux termes de l'arrêté ministériel du 30 mai 1879; elle s'élève de 5 mètres à $5^m,50$ pour les rivières munies d'écluses moyennes ou grandes, et cette distance est comptée à partir du niveau des hautes eaux navigables. La superstructure, quelle qu'elle soit, répondra donc, d'abord à ce premier besoin.

Le second besoin de la circulation des bateaux est que leur traction ne soit pas interrompue, et que la vitesse acquise, nécessaire à l'effet du gouvernail, ne soit ni perdue, ni même trop sensiblement amoindrie. Nous ne sommes plus ici dans le cas d'un arrêt nécessaire, comme au passage d'une écluse, et la meilleure disposition est celle qui permet aux deux passages superposés d'être indépendants l'un de l'autre.

581. Dimensions de la section rétrécie pour le passage d'un seul bateau. — Pour y arriver avec la moindre dépen-

possible, l'usage le plus suivi est de modifier la section de la voie navigable, et de la ramener au profil nécessaire au passage d'un seul bateau. Observons, toutefois, que ce profil n'est pas celui du bateau lui-même, mais représente son aire notablement augmentée, afin que l'effet du rétrécissement ne se fasse pas trop sentir sur la force motrice. On sait, en effet, que tout bateau en marche refoule devant lui un certain volume d'eau qui a besoin d'espace pour passer de l'avant à l'arrière; or, s'il s'engage dans un passage trop rétréci, il empêche le déplacement d'eau, et donne naissance à un remous d'autant plus sensible que la coque est plus longue et marche plus vite. Si, en même temps, l'alimentation du canal ou les manœuvres de l'écluse exigent un certain courant descendant, l'obstacle devient infranchissable, eu égard aux faibles moyens dont dispose le halage, surtout sur les canaux. Dans ce cas, que nous avons vu se produire souvent, les bateaux perdent leur vitesse, se mettent en travers et finalement sont forcés de reculer pour attendre la venue de celui qui les suit. Alors, à l'aide de la force motrice doublée, on fait franchir à chaque bateau, successivement, le passage rétréci, mais il en résulte un retard et un déploiement d'efforts sur lesquels on était en droit de ne pas compter.

Si donc les circonstances l'exigent, et si d'ailleurs la fréquentation du canal n'est pas suffisante pour proscrire un rétrécissement, on donnera à la section mouillée une largeur égale à celle des écluses voisines augmentée de $0^{m},60$ à 1 mètre. Quant à la profondeur, elle devra être telle que cette section mouillée soit égale au moins à une fois et demie, et mieux à deux fois celle du bateau. Pour y arriver, on approfondira le canal ou la dérivation, on mettra le chemin de halage en porte-à-faux; on emploiera en un mot les procédés que les circonstances locales permettront; mais on fera en sorte que la proportion des profils mouillés soit comprise entre les limites que nous indiquons. Dans ces conditions le rétrécissement sera acceptable et n'aura d'autre effet qu'un léger ralentissement compensé par la vitesse acquise, vitesse qu'on aura pu développer un peu aux abords, afin de mieux surmonter la résistance.

Le passage des bateaux ainsi assuré, occupons-nous des chemins de halage.

Le halage à l'aide d'animaux ne s'effectuait le plus souvent, jusqu'ici, que d'un seul côté du cours d'eau. Si l'on suit cet errement, ce sera de ce côté qu'on placera la banquette la plus large, et il sera convenable de lui donner au minimum 2 mètres, préférablement $2^m,25$ et mieux encore $2^m,50$. Cette largeur est vraiment nécessaire pour le passage d'un cheval tirant un peu obliquement, comme le font les chevaux qui halent, et qui ne peuvent, d'ailleurs, longer le bord du mur comme le ferait un homme. Quant à la hauteur libre sous poutres, elle ne sera pas moindre que 3 mètres.

Sur la rive opposée, en restant dans l'hypothèse où nous nous sommes placés d'un seul chemin de halage, on placera une banquette de 1 mètre ou mieux de $1^m,50$, se raccordant avec le chemin de contre-halage, et servant de marchepied. Elle sera utilisée, même en cas de traction par des chevaux sur l'autre rive, pour rectifier à bras d'homme la direction des bateaux dans le passage rétréci. Il arrive souvent, en effet, qu'une courbe du canal ou de la dérivation, l'action du vent, une traction inégale des bateaux en convoi, dérangent la rectitude de la remorque, et rendent une correction nécessaire. Sur le canal du Centre, où les ponts n'avaient qu'un chemin de halage, on a promptement reconnu la nécessité d'ajouter un marchepied sur la rive opposée, fût-ce aux dépens du chemin de halage, que l'on a réduit pour atteindre ce résultat.

En somme, comme il faut toujours assurer à la fois force motrice et direction, surtout aux passages rétrécis, comme, d'ailleurs, il est toujours sage de faire la part de l'avenir quand la chose est possible sans sacrifices exagérés, nous croyons que tous les ponts nouveaux qui seront exécutés à l'avenir auraient avantage à être symétriques et à présenter un chemin de halage sur chaque rive. Il s'ensuivrait un agrandissement d'ouverture de 1 mètre à peu près, c'est-à-dire un supplément de prix insignifiant, en regard d'une facilité réelle donnée aux manœuvres.

De tout ce que nous venons de dire, il résulte que tout pont placé sur un passage rétréci, à un seul bateau, doit présenter

une ouverture plus grande de 4 mètres à 6 mètres que la largeur du bateau qui le traverse. Il importe de ne pas perdre de vue ce fait, qui est de nature à diminuer beaucoup le profit qu'on espère souvent tirer des rétrécissements.

582. Section rétrécie mais permettant le croisement de deux bateaux. — Si la circulation de la voie navigable est assez importante pour qu'on doive ménager un croisement de bateaux dans les passages rétrécis, des règles analogues seront applicables. On adoptera pour largeur de la section une dimension égale à deux largeurs de bateau, plus $1^m,50$ ou 2 mètres. Il faut bien, en effet, laisser entre deux bateaux qui se croisent et qui sont animés de vitesses en sens contraire, un espace de 1 mètre. Un jeu de $0^m,25$ à $0^m,50$ sur chaque rive n'est pas moins nécessaire, car un choc sur une des rives rejetterait sur l'autre la coque qui aurait touché.

Quant à la profondeur, elle peut demeurer celle de la dérivation, parce que les bateaux qui se croiseront sous le pont auront, sur le déplacement de l'eau, deux effets en sens contraire qui tendront à se neutraliser.

On conservera, d'ailleurs, aux chemins de halage et de contrehalage les mêmes dimensions que tout à l'heure, mais on remarquera l'utilité encore plus grande ici d'un double chemin de halage, et on arrivera ainsi à une ouverture qui dépassera de $4^m,50$ à 7 mètres la double largeur d'un bateau.

583. Ouvrages accessoires qu'imposent les rétrécissements. — Pour que les changements de section s'effectuent avec le moins de perte de force possible, et en même temps pour que la direction du halage ne se modifie que progressivement, on doit avoir recours pour le raccordement de la section rectangulaire avec les talus de la dérivation à une surface gauche, s'étendant sur une vingtaine de mètres à l'amont et à l'aval. Cette surface gauche se construit en maçonnerie ordinaire depuis l'arête verticale jusqu'à la génératrice inclinée à 45°, et en pierre sèche pour le reste.

En arrière de la berge, ainsi modifiée, et au milieu de sa longueur, se trouvent les deux culées du pont, avec leur mur

en retour s'étendant sur tout le profil normal du canal et de ses dépendances, ou exigeant de nouveaux perrés si ce profil se modifie.

584. Conclusion en matière de rétrécissement des ponts. — Il résulte donc du fait même du rétrécissement, destiné à diminuer l'ouverture du pont, un développement d'ouvrages accessoires tel que la comparaison des dépenses peut amener, dans beaucoup de cas, à préférer un pont franchissant d'une seule travée la section normale du canal ou de la dérivation et lui laissant ses dimensions ordinaires ou à très peu près. Aujourd'hui que les constructions métalliques ont permis de réaliser économiquement des tabliers à grande portée, tandis que les ouvrages maçonnés ont renchéri, les données recueillies dans le passé cessent d'avoir la même autorité. La comparaison des prix actuels de superstructure et fondation peut seule guider l'Ingénieur dans les choix qu'il est appelé à faire. En général, plus les fondations seront aisées et les pierres à bon marché, plus le rétrécissement sera normatif; au contraire, plus les fondations seront difficiles, plus il sera rationnel d'accroître la portée et d'éviter les ouvrages accessoires.

Nous consignerons ici, au même sujet, quelques réflexions qui nous semblent de nature à être prises en sérieuse considération, quand on s'occupe de ces études comparatives.

585. Points où l'on peut rester dans le provisoire. Il faut, toutes les fois que le présent n'a pas d'exigences trop impérieuses, réserver soigneusement la part de l'avenir. Lorsque l'on a construit un canal dont la fréquentation est présumée moyenne ou faible, au début au moins, lorsque ce canal est croisé par des chemins sans importance, il est très rationnel de rétrécir, sur ces points de croisement, les deux passages autant que faire se peut, et d'adopter la solution la plus économique. Mais il est également logique de se dire qu'une navigation ne se crée qu'avec le temps et que les prévisions du début subissent des transformations nombreuses, parfois même répétées. Les déplacements d'intérêt qu'occa-

sionnent les voies de communication quand elles s'établissent, la création d'industries spéciales, les débouchés nouveaux, amènent tous les jours des changements qu'on ne peut deviner, mais auxquels on doit s'attendre. On fera la part de l'avenir en adoptant de préférence des types dont le remplacement soit facile, et qui conservent dans une certaine mesure le cachet du provisoire.

C'est une pensée de ce genre qui a certainement motivé, sur beaucoup de nos canaux, la construction de ces ponts en charpente bas, étroits, incommodes, qui nous semblent aujourd'hui en désaccord complet avec les ouvrages si soignés qui les avoisinent, et qui ont été exécutés à la même époque qu'eux par d'habiles ingénieurs dont le nom fait loi. Ces ingénieurs n'ignoraient pas que l'exécution même des travaux allait modifier les relations existantes ; et, pour ne pas engager l'avenir, ils satisfaisaient strictement aux besoins du présent, laissant à leurs successeurs le soin de compléter l'œuvre. Cet exemple ne doit pas être perdu de vue ; partout où le doute peut exister, on s'en inspirera, dût l'entretien être un peu plus onéreux, et l'on évitera les solutions susceptibles d'engager les besoins futurs.

On appliquera, au contraire, les ouvrages définitifs aux points où un trafic bien établi les justifie. Les ponts en maçonnerie à grande portée, les voies d'eau larges et profondes, les quais, etc., trouvent leur place naturelle aux environs des centres commerciaux et doivent recevoir, dès le début, tout le développement dont ils sont susceptibles.

586. Conditions réclamées par la navigation au sujet des ponts. — Nous n'avons pas à entrer dans les détails de la construction des ponts ; un autre ouvrage en traitera. Mais nous ne sortirons pas de notre cadre en envisageant, dans la construction de ces ouvrages, la partie qui intéresse la navigation, et en conseillant, en faveur de cet élément de l'ensemble, la meilleure utilisation possible des fonds empruntés à la fortune publique pour l'œuvre commune.

Dans le croisement d'un chemin et d'un canal, l'intérêt de la navigation réclame évidemment la plus grande ouverture

possible pour les ponts qui franchissent la voie d'eau ; et le principal obstacle qu'on rencontre est le poids du tablier, qui, lorsqu'il croît lui-même, augmente la dépense dans de larges proportions.

Il est rationnel, dès lors, de diminuer ce poids autant que faire se peut, partout où la circulation peut accepter les dispositions qui assurent le plus grand allègement. Dans cet ordre d'idées, sur presque tous les chemins ruraux, sur la plus grande partie des chemins vicinaux, et même sur quelques chemins de grande communication, on peut, avec la même dépense, adopter une grande ouverture si l'on se contente d'un tablier en bois sur poutres en fer, et si l'on se dispense d'empierrements sur voûtes en briques.

587. Inconvénients des ponts en métal et maçonnerie. — Ce système, dont nous sommes loin de contester la valeur lorsqu'il faut desservir une circulation d'une grande importance, a le tort, à nos yeux, de charger d'un poids mort énorme (1000 k. par mètre carré) le tablier à construire, alors que la surcharge d'épreuve des ponts métalliques n'est que de 400 kilos. C'est une charge permanente qu'il n'y a aucune raison de s'imposer toutes les fois que la circulation ne le réclame pas ; or, il en est ainsi sur le plus grand nombre des chemins que l'on est obligé de desservir en rase campagne. On y place des ponts, non à cause de leur fréquentation, mais pour éviter les indemnités de dépréciation qui seraient une conséquence d'un détournement ; les voitures que l'on y voit sont extrêmement rares.

On remarquera, d'ailleurs, que ces ouvrages doivent d'autant moins être affaiblis par un poids mort inutile, qu'ils sont exposés à subir accidentellement des chargements exagérés lorsqu'ils livrent passage à des voitures d'agriculture dont on renforce les attelages pour obéir à une nécessité du moment. Il est évidemment bon, pour cette éventualité, de laisser au fer toute son élasticité, en vue d'une résistance exceptionnelle momentanée ; et l'on y arrive en l'affranchissant d'un effort permanent en pure perte.

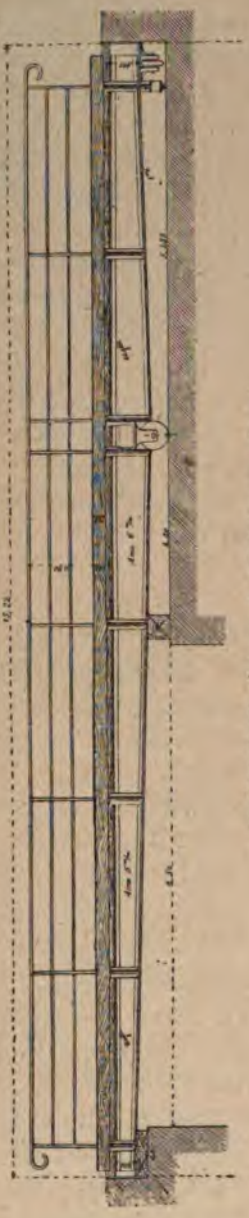
Allons même plus loin dans cet ordre d'idées, malgré la fa-

veur dont jouissent aujourd'hui les tabliers mixtes en maçonnerie et métal, et disons franchement notre opinion : C'est un emploi du fer qui est incontestablement très commode ; mais qui, au point de vue de la durée des ouvrages, est loin d'être irréprochable. Qui peut dire ce que vivront les poutres en fer dans des substances comme la chaux? Dans ce milieu rigide, invariable de forme, une substance élastique et dilatable comme le fer, perd très promptement son adhérence avec les mortiers ; dans ces joints capillaires, l'eau du tablier ne peut manquer de s'infiltrer et d'amener une oxydation d'autant plus dangereuse qu'on ne la voit pas. Toutes les fois que le fer peut être visité, gratté, repeint, remplacé ou consolidé, sa durée peut être très grande. Elle deviendra peu supérieure à celle du bon bois, judicieusement employé, si les causes de détérioration sont permanentes. On doit donc, à notre avis, accepter les tabliers mixtes de ce genre lorsqu'ils sont commandés par les circonstances locales ; mais il ne faut pas les rechercher et les adopter comme type.

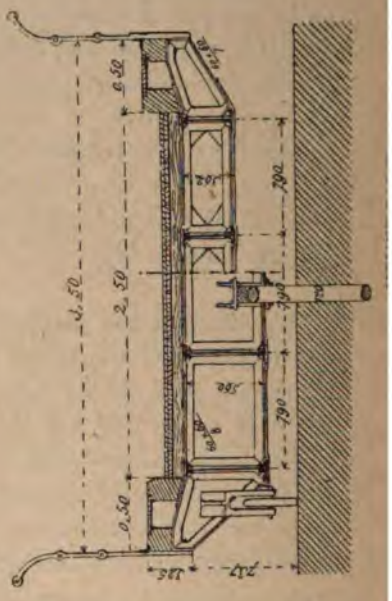
588. Avantages des ponts en fer et bois. — Nous donnerions encore la préférence aux poutres métalliques portant des tôles ondulées ou des fers spéciaux sous la chaussée, parce que l'entretien en est plus sûr et le poids mort moins considérable. Toutefois, nos préférences sont (sur les chemins peu fréquentés, bien entendu) pour les tabliers en fer et bois, posés simplement sur deux culées. Ils exigent un peu plus d'entretien, mais ils sont légers, solides, sans poussée d'aucune sorte ; on peut les exhausser si besoin est, les démonter et les transporter, si on les remplace ; en un mot, ils ont ce provisoire durable qui convient à une circulation appelée à se modifier dans un avenir inconnu.

Ils sont, en outre, très économiques, car le tablier peut s'obtenir à raison de 170 à 180 francs le mètre carré. Or, si nous recommandons cette solution, c'est que l'économie qu'elle procure permet, avec la même dépense, d'agrandir l'ouverture des ponts et de donner aux bateaux les aisances qui, sur la plupart de nos canaux, ont été vraiment trop refusées à la navigation. C'est un côté par lequel la question rentrait dans

PONT MOBILE (TYPE ÉCONOMIQUE)



ÉLÉVATION (Échelle de 0m,01 pour mètre.)



notre cadre, et l'on excusera pour ce motif la discussion à laquelle nous nous sommes livré.

589. Des ponts mobiles. — C'est au même point de vue que nous parlerons des ponts mobiles, qui sont trop souvent repoussés comme une solution dispendieuse et incommode. Assurément ces ponts peuvent être gênants pour les voitures qui arrivent précisément au moment où le pont est ouvert mais, en revanche, ils affranchissent la circulation de cette sujétion gênante de monter une rampe rapide pour la descendre immédiatement. Les difficultés de halage disparaissent complètement ; et, sur tous les points où sont logés des agents de l'administration, leur manœuvre ne doit pas être considérée comme une dépense spéciale puisqu'elle se fait par les soins de ces agents. On peut, avec raison, les assimiler aux passages à niveau des chemins de fer, car ils sont susceptibles, presque aussi facilement que les barrières, d'être manœuvrés par les femmes des gardes, en l'absence de ceux-ci, pourvu que l'on adopte un bon type de tablier. (Il ne s'agit toujours, ici, que de navigation intérieure.) Il ne faut donc pas repousser, de parti pris, les ponts mobiles, surtout en plaine et pour desservir une circulation très limitée.

D'autres ouvrages feront connaître les divers types de ponts mobiles en usage dans les ports de mer. Là, ces ponts sont nécessairement employés, puisqu'il faut livrer passage aux navires marins et à leur mâture. Pour nous, nous nous bornerons à faire connaître un type économique, et dont l'expérience nous a permis d'apprécier la valeur.

Le tablier se compose de quatre poutres assemblées par des traverses et un chevêtre, lequel repose sur un pivot unique et central formé d'une demi-sphère, sur laquelle le tablier peut à volonté pivoter et basculer. Au repos, ce tablier est soutenu par trois points ; et les verins de culasse, tout en soulageant le pivot, fixent la volée à la rive du halage. Un contrepoids placé au-dessus de ces mêmes verins permet, au contraire, lorsqu'on abaisse ceux-ci, un léger basculement grâce auquel la volée se détache de ses appuis et demeure en l'air, à l'abri de tout frottement. Il suffit alors de pousser le pont à la main,

pour qu'il tourne sur son pivot, car les galets de chevêtre et de culasse ne font que maintenir l'équilibre dans les deux sens et ne doivent pas fonctionner comme supports. Cette double disposition a l'avantage de ne laisser subsister de résistance passive qu'au pivot, c'est-à-dire à l'extrémité d'un bras de levier très-court, tandis que la puissance, qui peut s'exercer au bout de la culasse ou de la volée, en triomphe très aisément.

Le système se prête, d'ailleurs, à toutes les dimensions. Il existe des ponts tournants de ce genre de 6m,50, de 8 mètres et même de 14 mètres d'ouverture, qui sont manœuvrés à la main sans engrenages. L'un de ces ponts de 14 mètres a 7 mètres de largeur, il reçoit une circulation de 1.800 colliers et fonctionne depuis plus de douze ans sans qu'on ait modifié son mode de manœuvrage, ce qui semble indiquer qu'on le trouve suffisant.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces ouvrages ; si même nous nous sommes étendu aussi longuement sur ce qui les concerne, c'est que les détails que nous avons fournis s'appliquent aussi bien aux canaux qu'aux dérivations ; or, le rétablissement des communications est un des éléments importants du prix des canaux, et il était utile de traiter complètement la question, au moment où l'étude des dérivations nous amenait à nous en occuper.

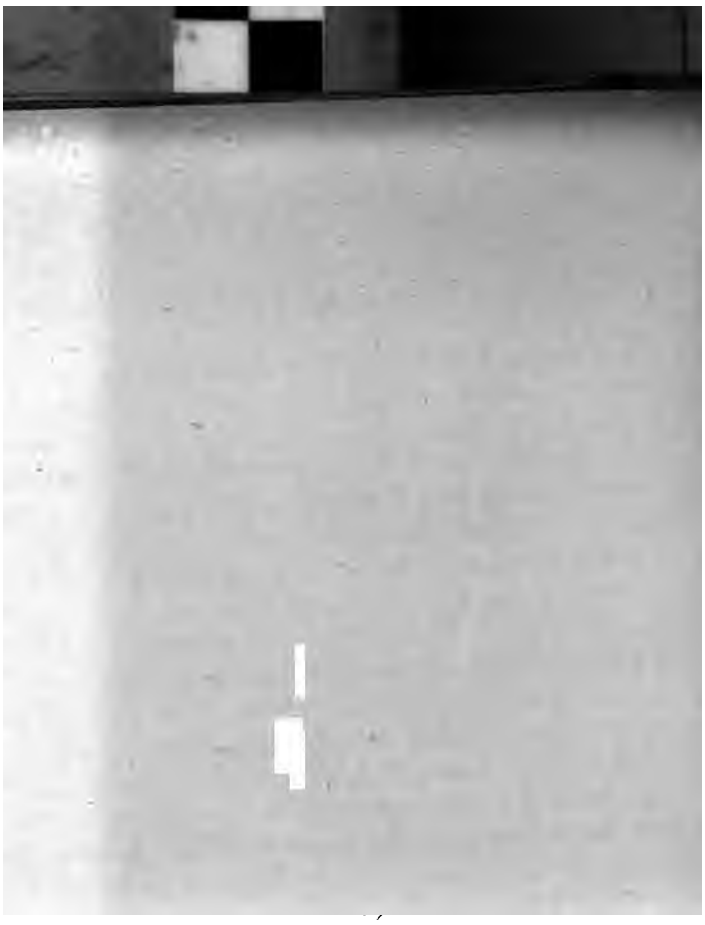
§ IV

RÉSUMÉ SUR LES DÉRIVATIONS.

390. — En résumé, les dérivations ont des avantages nombreux.

Les bateaux y trouvent une eau tranquille, ce qui est toujours favorable, non seulement à la sécurité du parcours, mais encore à la réciprocité des communications.

Les écluses s'y construisent en pleine terre, sur un emplace-



SIXIÈME PARTIE

DES CANAUX

CHAPITRE VINGT-TROISIEME : *DES CANAUX LATÉRAUX*

CHAPITRE VINGT-QUATRIÈME : *DES CANAUX A POINT DE PARTAGE*

CHAPITRE VINGT-CINQUIEME : *CONSTRUCTION DES CANAUX ET DE LEURS DÉPENDANCES*

CHAPITRE VINGT-SIXIÈME : *DE L'ENTRETIEN ET DE L'EXPLOITATION DES CANAUX. COMPARAISON ENTRE LES CHEMINS DE FER ET LES CANAUX*

Déperditions apparentes.

636. Consommation d'eau par les éclusées. — 637. Fuites ou renards. — 638. Pertes par les portes d'écluses. — 639. Remplissage du canal après chômage.

Déperditions non apparentes.

640. Causes principales des déperditions non apparentes. — 641. Evaporation et filtration. — 642. Pertes par fausses manœuvres. — 643. Pertes pour réparation d'avaries.

Déperditions douteuses.

644. Mouvements des ports. — 645. Différences de longueur dans les biefs et de chute dans les écluses. — 646. Effet des écluses échelonnées.

§ 5. *Alimentation des canaux latéraux.* — 647. Répartition des ressources alimentaires sur une ligne navigable.

Prise d'eau principale à l'origine d'un canal latéral.

648. Conditions générales d'établissement. — 649. Ouvrage destiné à la navigation. — 650. Ouvrage destiné à l'alimentation.

Prises d'eau secondaires étagées le long de la ligne navigable.

651. Nécessité de prises d'eau secondaires. — 652. Rigoles dérivées des affluents. — 653. Débit à demander aux rigoles. — 654. Vitesse à donner à l'eau. — 655. Section à adopter. — 656. Pente des rigoles. — 657. Ouvrages accessoires des rigoles.

§ 6. *Expulsion des eaux des canaux.* — 658. Utilité d'avoir des moyens d'évacuation. — 659. Déversoirs de superficie. — 660. Déversoirs de fond et de superficie. — 661. Espacement des déversoirs. Division correspondante des biefs.

Figures :

Section transversale des aqueducs, deux figures, art. 616. — Déversoir de superficie, art. 659.

Petites planches :

Profil transversal type d'un canal, § 2. — Aqueduc avec puisard, art. 610. — Buses en fonte ou en tôle, art. 617. — Pont-canal de Bar-le-Duc, art. 622. — Prolongement des têtes d'un pont-canal dans le terre-plein, art. 624. — Pont-canal en fonte, art. 626. — Pont-canal en tôle, deux planches, art. 627. — Traversée de la Loire à Châtillon, art. 631. — Déversoir de fond et de superficie, art. 660.

§ Ier

NÉCESSITÉ DE RECOURIR A DES VOIES DE NAVIGATION ARTIFICIELLES

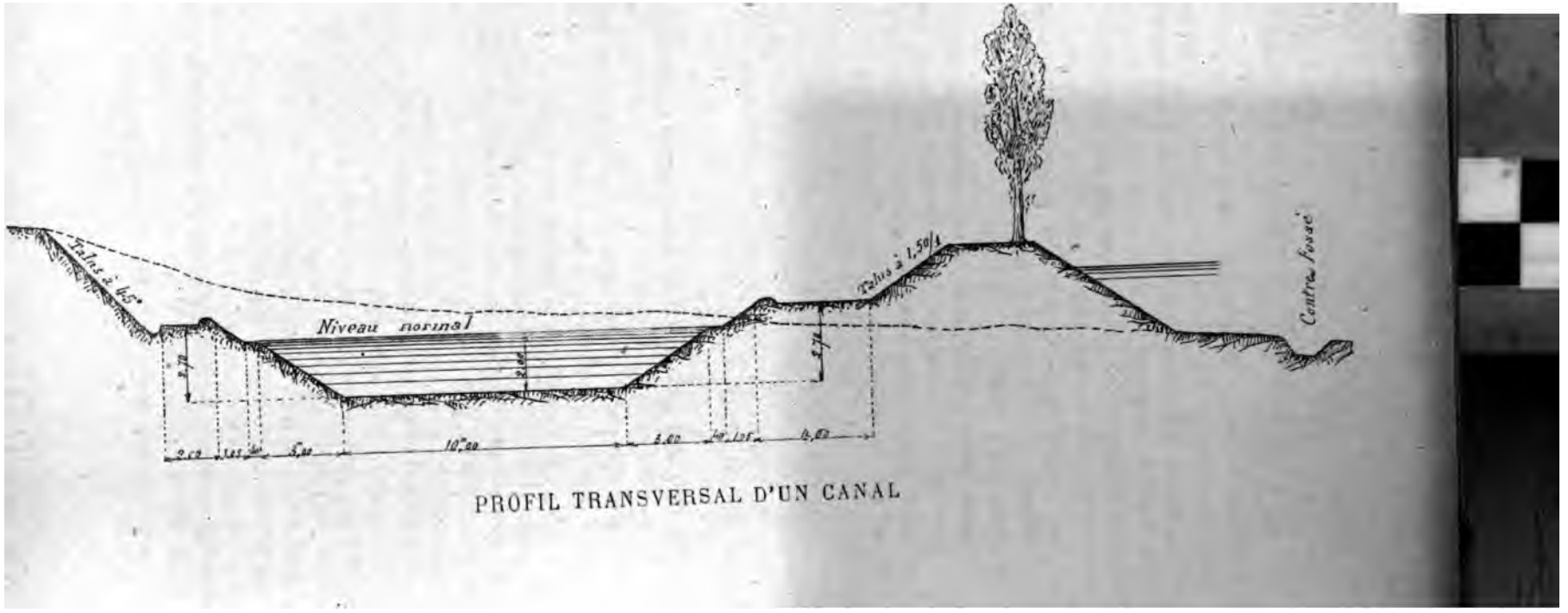
591. Impossibilité de canaliser certaines rivières. — La canalisation des rivières, telle que nous l'avons précédemment décrite, est loin d'être toujours réalisable. Beaucoup de rivières ont une pente telle que les barrages devraient se

succéder à très faible distance, pour que chacun d'eux pût assurer, sur le seuil de celui qui le précède, un mouillage suffisant. Ces cours d'eau, à régime torrentiel, ont généralement une grande largeur ; ils sont susceptibles de déplacements brusques, leur lit est composé d'éléments mobiles que chaque crue transporte incessamment à la mer ; et ces circonstances réunies augmentent dans une telle proportion les dépenses et les chances d'insuccès, que la canalisation au moyen de barrages n'est pas à tenter.

Dans d'autres vallées, c'est le niveau trop bas des rives qui s'oppose à un relèvement des eaux susceptible de gêner les habitudes agricoles du pays ; ce sont des usines placées sur le cours d'eau lui-même ou sur ses affluents, dont on ne peut modifier les conditions de fonctionnement sans s'exposer à des demandes d'indemnités aussi considérables que justifiées ; c'est enfin la fréquence des crues, qui peut multiplier outre mesure le nombre de jours où les courants mettent obstacle à la navigation ascendante.

592. Utilité des voies de navigation artificielles. — Ajoutons enfin qu'il est toujours sage, quand on peut le faire, de ne pas changer les habitudes de la circulation. Si, par exemple, on a à réunir deux canaux aboutissant à la même rivière, il y a presque toujours avantage à laisser aux bateaux qui les fréquentent leur mode de navigation tranquille et sûr, plutôt que de leur imposer la traversée d'une section fluviale, dont le parcours peut exiger un pilotage et des précautions exceptionnelles pour eux. Plus le réseau français ira en se developpant et soudera mieux ensemble ses tronçons, aujourd'hui séparés, plus la raison que nous venons d'invoquer prendra de valeur, car la navigation sur les canaux, qui est partout la même, deviendra prépondérante et imposera ses habitudes aux autres voies navigables.

On a recours, lorsqu'on est en présence des circonstances que nous venons d'énumérer, à l'établissement d'une voie entièrement artificielle qui se substitue à la rivière et fonctionne comme une dérivation aussi longue que le cours d'eau, en lui demeurant juxtaposée. Cette dérivation est un canal latéral ;



PROFIL TRANSVERSAL D'UN CANAL

elle rachète la pente de la vallée par des écluses qui divisent le tracé en une suite de biefs horizontaux à eau dormante.

Nous étudierons successivement, dans ces voies navigables artificielles :

Les dispositions générales (section, tracé, profil en long) que nécessite leur usage ;

Les exigences spéciales de la traversée des affluents ;

La consommation d'eau sur laquelle on doit compter, pour pertes de tout genre ;

Le mode d'alimentation qui correspond à ces déperditions ;

Enfin les ouvrages nécessaires à l'expulsion des eaux, car un canal doit pouvoir se vider partiellement ou en totalité quand besoin est.

§ II

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

SECTION, TRACÉ, PROFIL EN LONG

Section.

La section ou profil en travers d'un canal se détermine par les considérations qui suivent :

593. Largeur au plafond. — Deux bateaux doivent pouvoir se croiser ; la largeur au plafond sera donc à peu près double de celle des bateaux qui fréquentent le canal, soit 10 mètres pour des écluses de $5^m,20$; 12 mètres pour des écluses de $6^m,50$; 15 mètres pour des écluses de $7^m,80$. Cette dimension serait même faible, si le mouillage du canal ne devait pas être toujours supérieur de $0^m,20$ à $0^m,30$ au tirant d'eau des bateaux ; toutefois, avec cette revanche, elle est admissible, parce que les talus permettent de gagner de la largeur au niveau de la sole des deux bateaux qui se croisent.

largeur du chemin de halage) si le chemin de halage est insubmersible. S'il est submersible, la largeur et la hauteur du cavalier devront être telles qu'il constitue une solide digue insubmersible, dépassant de $0^m,60$ à 1 mètre le niveau des plus hautes eaux connues.

On conçoit, en effet, que si la nappe d'inondation pouvait se répandre dans le canal, elle y causerait de graves désordres tant pour les bateaux que pour les ouvrages.

Un point à noter, c'est qu'il est très utile, au moment où se négocient les acquisitions de terrain, d'élargir notablement les emprises, de façon à posséder le long des cavaliers du canal une zone sur laquelle puissent se faire les approvisionnements, les dépôts de curage et les consolidations ou élargissements dont le temps révèle toujours la nécessité. En attendant leur emploi à cet usage, ces terrains servent de pépinières ou reçoivent des plantations qui rapportent, à elles seules, l'intérêt du capital engagé, tandis que, sur les points où cette précaution n'a pas été prise, on est à la merci des riverains.

On remarquera que l'acquisition de cette zone supplémentaire est loin de faire croître le prix des terrains proportionnellement aux surfaces occupées. L'indemnité, on le sait, est réglée sur une double base, l'étendue du terrain exproprié d'une part, et, d'autre part, la difficulté d'exploitation qui résulte du tronçonnement de la propriété. Or, le dommage relatif à la dernière des deux causes, souvent aussi importante que l'autre, demeure constant, quelle que soit la largeur de l'emprise ; et cette considération est de nature à permettre de se placer un peu à l'aise, au point de vue de l'avenir. On élargira donc l'emprise, très peu là où le terrain est cher, d'une dizaine de mètres là où il a une valeur moindre, de façon à disposer partout d'une zone latérale au pied des talus.

598. Contre-fossés. — Enfin deux contre-fossés séparent les terrains de l'Etat de ceux des riverains ; le contre-fossé d'amont reçoit toutes les eaux du coteau et les conduit aux aqueducs placés sous le canal, tandis que celui d'aval recueille les filtrations et les dirige vers le lit des ruisseaux que traverse le tracé. Leur dimension répond à l'importance de l'é-

que l'on borde, du côté du canal, par un bourrelet gazonné de 0m,30 à 0m,40 de hauteur ; sur l'autre rive, on place le chemin de contrehalage ou marchepied, qui n'a souvent que 2 mètres et est aussi bordé par un bourrelet.

Lorsque le canal est à flanc de coteau, le chemin de halage se place habituellement du côté de la vallée, et le marchepied vers le coteau, afin de diminer le cube de la tranchée. Ce n'est pas là toutefois une règle absolue, et il faut tenir compte aussi de beaucoup d'autres circonstances locales, parmi lesquelles figure la direction des vents régnants. Ceux-ci, en effet, ainsi que nous l'avons déjà vu, influencent beaucoup le halage, et ce serait un tort que de placer le chemin qui le dessert sous le vent, là où il est possible de le placer au vent.

Les deux chemins sont empierrés ou au moins sablés sur 2 mètres et 1 mètre de largeur au minimum.

Sur les voies navigables très fréquentées, où les croisements sont nombreux et où les bateaux ont à se dépasser, on a eu souvent à regretter de ne pas avoir deux chemins de halage semblables à mettre à la disposition des convois. Ce doublement permet de donner un côté à la navigation descendante, l'autre côté à la navigation ascendante, et d'épargner ainsi les pertes de temps résultant du débillage que nécessite toujours le croisement des animaux sur un chemin unique. Il y a, d'ailleurs, si peu de différence de dimension entre le marchepied et le chemin de halage, que la distinction tend de plus en plus à disparaître et que les chemins de halage doubles deviendront vraisemblablement bientôt la règle, ce qui nous semble à désirer.

597. Cavaliers. — A côté du chemin de halage se place le cavalier, monté avec les déblais, généralement en excès, que fournissent la cuvette et la fouille dans le coteau. Le rôle du cavalier est de renforcer la digue qui soutient, dans les conditions habituelles, les eaux du canal ; et de former au contraire digue de protection contre le cours d'eau, lorsque celui-ci déborde et menace d'envahir le canal. On lui donnera, du côté de la vallée, une inclinaison de 1 mètre de hauteur pour 1m,50 de base, avec 4 mètres au moins de largeur en tête (la

routes ; il n'y a qu'une différence, c'est que les canaux étant toujours en eau, et traversant souvent des terrains humides, la protection des talus est à la fois plus difficile et plus nécessaire.

Tracé.

602. Difficulté de placer des canaux latéraux dans les plaines. — Le sol des vallées, des grandes vallées surtout, est ordinairement formé de gravier plus ou moins pur, perméable par suite, et dans lequel il serait difficile de maintenir un canal à un niveau déterminé ; les inondations y seraient à redouter, tant par-dessus les digues qu'à travers le sous-sol ; la pente uniforme du cours d'eau se prêterait mal à la création des biefs horizontaux qui devraient être fortement encaissés à l'amont et surélevés à l'aval, pour racheter la chute des écluses ; enfin, chaque affluent viendrait heurter le canal presque à niveau, et l'écoulement naturel des eaux ne se concilierait que difficilement avec les exigences de la navigation.

603. Position au pied des coteaux. — On évite ces inconvénients en adoptant, pour l'assiette du tracé, le pied de l'un des coteaux de la vallée. Là, la terre végétale descendue des versants offre en général à la cuvette une couche peu perméable ; le tracé se développe horizontalement, à la hauteur la plus convenable pour éviter à la fois les obstacles naturels, les inondations et les lieux habités. Quant aux affluents, leurs vallées secondaires peuvent être traversées en amont du confluent et au niveau que l'on aura choisi, ce qui facilite à la fois l'écoulement de leurs eaux et la construction de l'ouvrage destiné à l'assurer. On choisit bien entendu, pour le suivre, celui des deux coteaux qui est le moins abrupte, qui présente le sol le plus favorable, ou qui porte le moins d'habitations.

604. Embranchements. — Quand la vallée renferme quelque centre commercial à desservir, on y descend par un embranchement, qui de distance en distance relie le cours d'eau naturel à la voie artificielle. On met ainsi celle-ci à la

tracé soit à la hauteur suffisante et barre la vallée, ce qui est une source de dépenses et de difficultés devant lesquelles on recule souvent.

La troisième est la plus habituellement suivie, toutes les fois que l'obstacle n'est pas infranchissable. Le canal s'adosse alors au coteau, il réduit sa section et ses dépendances au strict nécessaire comme largeur, et doit être défendu d'une manière énergique contre les attaques du cours d'eau, qui tend toujours à reprendre son lit naturel. Inutile d'ajouter qu'on pratique, dans la rive convexe, un élargissement suffisant à compenser la prise de possession qui a été réalisée, si elle est de nature à gêner l'écoulement des crues.

Profil en long.

607. Conditions diverses à remplir. — Tout ce que nous venons de dire, au sujet du profil en travers et du tracé, laisse peu de choix en ce qui concerne le profil en long. Quand on a assuré l'insubmersibilité du canal ; quand on a placé sa cuvette dans les terrains les plus favorables au point de vue de sa construction, il reste encore plusieurs conditions restrictives à remplir. Il faut se tenir à tel niveau que les affluents puissent être facilement franchis. Les biefs doivent être assez longs pour que chaque éclusée n'y produise pas de dénivellation sensible ; sous ce dernier rapport, un bief de mille mètres de longueur est considéré comme court ; au-dessous de cette dimension, il convient de l'élargir pour que son cube total ne soit pas trop affaibli par chaque éclusée.

Il est bon enfin que les chutes des écluses ne soient pas trop dissemblables, afin que les émissions d'eau qui s'opèrent par les vannes des portes ou par les aqueducs, pour l'alimentation, ne prennent pas des temps trop différents aux diverses écluses. L'expérience a montré que l'on tenait convenablement compte de toutes les sujétions en adoptant des chutes variables de de $2^{m},50$ à 3 mètres ; sans se faire de cette habitude une règle absolue, il est permis de croire que c'est cette hauteur

qui, tout compte fait, correspond le mieux aux besoins pratiques de la navigation intérieure[1].

Ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire, les biefs sont horizontaux, en ce sens que leurs eaux sont sans pente et sans vitesse ; toutefois lorsqu'ils sont fort longs, on a intérêt à disposer leur plafond en pente, afin que les mouvements d'eau, ainsi que la vidange et le remplissage, s'opèrent avec plus de rapidité. Il faut éviter, dans ce cas, de donner naissance à des vitesses susceptibles de dégrader les talus ; il convient, pour y arriver, que la pente du plafond ne soit que de quelques centimètres par kilomètre.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces généralités. A mesure que nous étudierons les canaux et leurs besoins, soit comme construction, soit comme exploitation, chaque détail se dégagera de lui-même, et s'ajoutera à ce que nous avons dit ici, et à propos des dérivations éclusées.

§ III

TRAVERSÉE DES AFFLUENTS

608. Les affluents peuvent difficilement être reçus dans les canaux. — Un canal latéral traverse nécessairement tous les affluents d'une des rives du cours d'eau qu'il est destiné à suppléer. Quelques-uns de ces cours d'eau peuvent à la rigueur avoir un régime assez tranquille pour être reçus dans le canal, mais le fait est très rare et présente toujours des inconvénients à un moment donné. On préfère s'isoler de leurs eaux et des dépôts qu'elles entraînent, en leur ouvrant une issue spéciale sous la cuvette. La position à flanc de coteau rend aisée cette solution, qui est d'ailleurs la seule possible, vis-à-vis des rivières d'une certaine importance que coupe le tracé.

1. La question est discutable et discutée. On trouvera quelques motifs pour et contre au chapitre qui traite des Plans inclinés et élévateurs.

AQUEDUC AVEC PUISARD

Coupe en travers du puisard.

Coupe transversale.

Coupe longitudinale.

609. Distinction entre les aqueducs et les ponts-canaux. Traversées à niveau. — Les ouvrages d'art, destinés à assurer ainsi le passage des eaux, portent le nom d'aqueduc quand leur ouverture est faible, et prennent celui de pont-canal lorsqu'il y a plusieurs arches ou même une seule arche de grande portée. Il y a encore, entre ces deux genres d'ouvrages, cette différence que les aqueducs sont recouverts par les remblais et n'apparaissent que par leurs têtes, tandis que les ponts-canaux sont entièrement visibles et portent les eaux, sur toute l'étendue de l'ouvrage, dans une cuvette qui en forme le couronnement.

Enfin, quand on n'a pas recours à un aqueduc pour diriger les eaux sous le canal ou à un pont-canal pour les franchir par dessus, il ne reste qu'un parti à prendre, c'est de traverser la rivière à niveau. De là trois objets d'étude : les aqueducs, les ponts-canaux et les traversées à niveau.

Aqueducs.

610. Aqueducs ordinaires. — Les aqueducs sont de simples ponceaux auxquels on donne des dimensions en rapport avec le volume d'eau qu'ils doivent écouler. Leur construction n'a rien de particulier lorsque les niveaux respectifs du canal et du ruisseau sont tels que le croisement peut s'opérer sans difficulté. Elle demande quelques précautions au contraire quand les deux niveaux sont voisins. Dans ce cas, l'aqueduc fait siphon, la voûte reste toujours noyée, et le radier se place plus bas que ne le sont les parties du lit du ruisseau situées en amont et en aval.

611. Siphons. — La figure ci-contre représente un aqueduc de ce genre. L'aqueduc proprement dit est compris entre deux puisards par lesquels les eaux descendent et remontent. Ces puisards sont un peu plus profonds que le radier du corps de l'aqueduc, pour que les pierres ne soient pas entraînées dans le passage rétréci, et les dimensions sont telles, toutes les fois que faire se peut, qu'un homme puisse passer partout, car c'est un grand avantage pour le cas de réparations. Lorsque la disposition des lieux permet de substituer,

à l'aval, une contre-pente à la chute du puisard, il est préférable d'adopter ce mode de raccordement, parce qu'il facilite beaucoup l'extraction des branches d'arbre, et en général de tous les dépôts qu'amènent les orages. Nous n'avons pas besoin d'ajouter que si, en creusant un peu le lit du ruisseau, il était possible d'éviter la contre-pente elle-même, la solution serait encore meilleure.

612. Résistance à la sous-pression. — Placés dans les conditions de siphonnement dont nous avons parlé plus haut, les aqueducs sont soumis à deux genres d'efforts différents. Lorsque le canal est plein et le ruisseau à l'étiage, la voûte est chargée de haut en bas et résiste comme le font habituellement les voûtes. Quand, au contraire, le canal est vide, et le cours d'eau en crue, il y a sous-pression, et la voûte tend à se soulever ; il faut alors que son poids, joint à celui des remblais qui la surmontent, fasse équilibre à cette sous-pression, car on ne peut guère compter sur l'adhérence des mortiers dans la maçonnerie ordinaire. On se donne plus de chances d'utiliser cette dernière force en composant l'aqueduc d'un massif de bon béton, pilonné sur moule, et offrant alors, indépendamment de son poids, une résistance analogue à celle d'un tuyau monolithe.

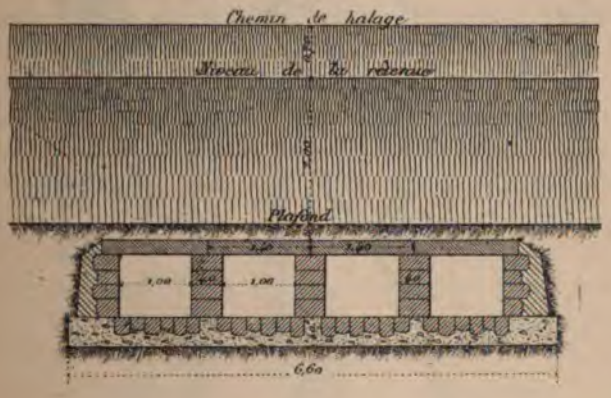
613. Murs en retour. — L'ouvrage, aux deux têtes, se termine par des murs en retour ou des murs en ailes. Les murs en retour sont ordinairement préférés parce qu'ils s'opposent mieux aux filtrations qui tendent à s'établir à la jonction des terres et de la maçonnerie.

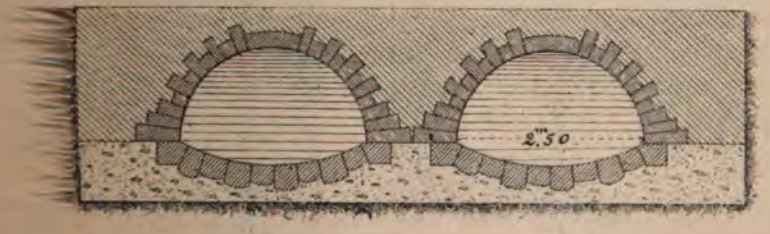
614. Radier avec parafouilles. — Pour un motif analogue, il convient de relier les deux culées par un radier et de terminer ce radier par un parafouille toutes les fois que le sol est assez perméable pour inspirer quelques craintes.

615. Longueur à donner aux aqueducs. — On conserve d'ailleurs au canal, sur l'aqueduc, le profil utile aux croisements. Sur quelques canaux, dans un but d'économie, on avait, pour diminuer la longueur de l'aqueduc, réduit la cuvette à l'espace nécessaire au passage d'un seul bateau ; mais il résulte

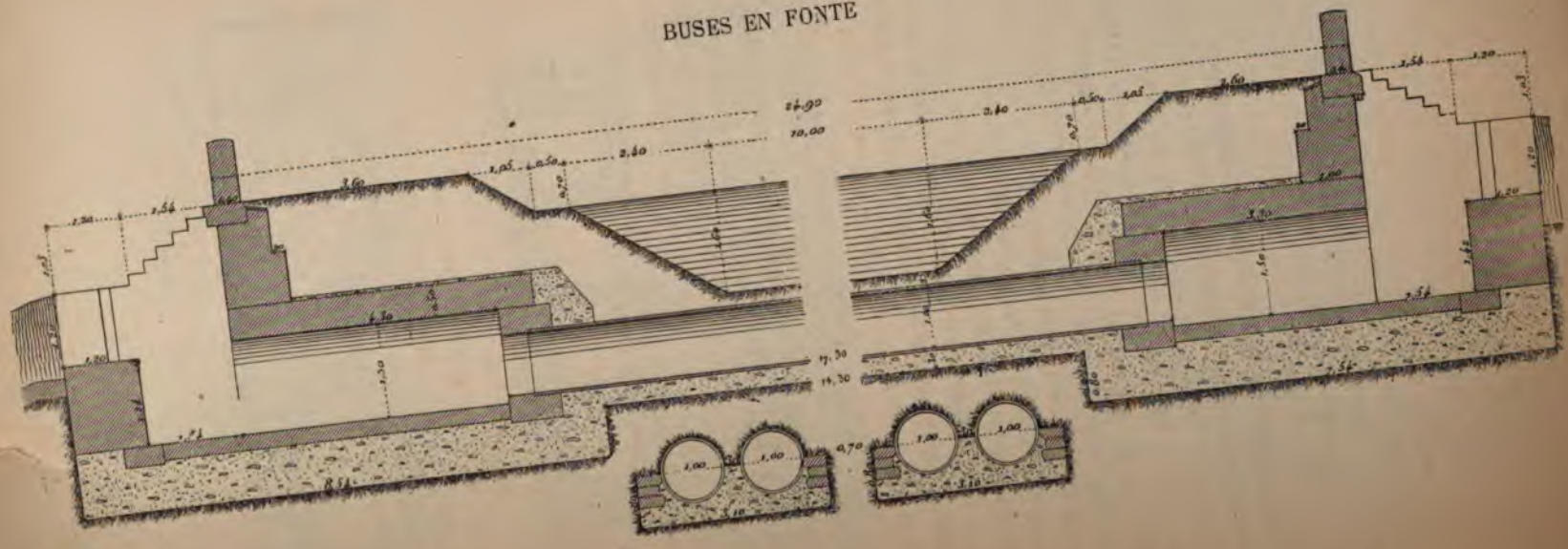
de ces rétrécissements une gêne si considérable qu'on y a renoncé, et qu'on élargit partout aujourd'hui, sur les points où cet errement avait été suivi.

616. Section transversale des aqueducs. — Quant à la section transversale à adopter, elle dépend entièrement des circonstances locales et des matériaux dont on dispose. La forme que nous avons déjà indiquée est préférée quand la hauteur libre permet de la choisir ; quand cette hauteur libre est insuffisante, on a recours soit à des passages dallés, soit à des voûtes surbaissées. Toute forme est convenable pourvu qu'elle assure deux conditions qui ne doivent jamais être perdues de vue quand on projette ces ouvrages : la première c'est la façon de les entretenir ; la seconde, c'est la possibilité d'une augmentation du tirant d'eau du canal.





BUSES EN FONTE



617. Buses en fonte ou en tôle. — Telles sont les conditions que doivent remplir les aqueducs en maçonnerie ; elles sont assez complexes pour qu'on leur ait souvent substitué des buses en fonte ou même en tôle. On y trouve de nombreux avantages. C'est d'abord une résistance égale à l'écrasement et à l'extension, de telle sorte qu'on n'a plus à se préoccuper de la sous-pression, c'est ensuite une diminution de volume qui permet de remonter les aqueducs presque au niveau du plafond ; c'est enfin une étanchéité parfaite et des parois lisses et résistantes, contre lesquelles l'écoulement peut acquérir des vitesses considérables sans aucun inconvénient.

Les buses les plus usitées sont en fonte, de forme ronde, et dépassent rarement le diamètre de 1 mètre, bien qu'on en ait fait de beaucoup plus grandes. On en juxtapose le nombre nécessaire à l'écoulement des eaux de l'affluent ; leurs têtes débouchent dans un aqueduc unique placé sous chaque digue et qui communique librement avec le puisard voisin. De cette façon, ces têtes sont facilement accessibles et le passage rétréci se trouve réduit à son minimum.

Les tuyaux sont posés sur un radier général en béton, parfois même enveloppés d'une couche de béton qui les protège contre les coups de gaffe, quand ils sont très rapprochés du fond de la cuvette ; enfin, les joints sont exécutés avec les mêmes soins que ceux des tuyaux de conduite d'eau, c'est-à-dire coulés au plomb et matés. La jonction de la fonte et de la maçonnerie demande des soins spéciaux dont nous parlerons à propos des ponts aqueducs ; ces soins, toutefois, sont ici moins impérieusement commandés, en raison des moindres variations de température que ressentent les aqueducs siphons, toujours un peu profondément enterrés.

Il y a lieu, d'ailleurs, surtout quand le diamètre est inférieur à 1 mètre, de placer une chaîne dans chaque buse, de façon à pouvoir, après chaque orage ou chaque débordement, faire passer un hérisson d'une tête à l'autre et s'assurer périodiquement que les eaux trouvent leur passage.

618. Utilité de multiplier ces ouvrages. — Nous terminerons par un avis au sujet de ces aqueducs. Au canal

de Roanne à Digoin, on avait, par idée d'économie, évité un certain nombre d'aqueducs en recevant dans le canal les eaux des sources interceptées, et en restituant aux usagers de ces sources un volume équivalent emprunté au canal. Il en est résulté les plus graves difficultés administratives; les marchés passés dans ces conditions ayant trait à des eaux susceptibles de propriété privée, qu'on échangeait en quelque sorte contre des eaux appartenant au domaine public, ont donné lieu à des procès, où les juridictions n'ont pu être nettement établies, et où l'intérêt particulier a aisément pris le dessus. Il est prudent d'éviter ces confusions. On adoptera donc des dispositions telles que les intérêts de l'Etat soient, partout et toujours, nettement séparés de ceux des riverains par la construction d'aqueducs, que l'emploi des buses en fonte rend aussi facile qu'économique.

Nous insistons d'autant plus sur ce détail, que l'écoulement des eaux du coteau exige qu'aucun ruisseau ne soit barré. Partout où les aqueducs ont été trop ménagés en vue d'arriver à une minime économie de construction, on a donné naissance à des réclamations nombreuses; et il a fallu exécuter plus tard, à grands frais, ce qu'on aurait pu établir tout d'abord à bien meilleur compte.

Ponts-canaux.

619. Nécessité des ponts-canaux. — Lorsque l'affluent sur lequel un canal doit passer n'est pas un simple ruisseau, mais un cours d'eau fournissant un volume considérable, on ne peut plus le diriger dans un aqueduc faisant siphon parce que l'obstruction de cet aqueduc deviendrait un danger ; il faut alors soutenir le canal à une hauteur suffisante pour que les eaux, passant sous le pont, n'atteignent pas la voûte, même à l'époque des crues. C'est une condition que remplissent les plus grands ponts connus, et qui distingue encore ces ouvrages des aqueducs.

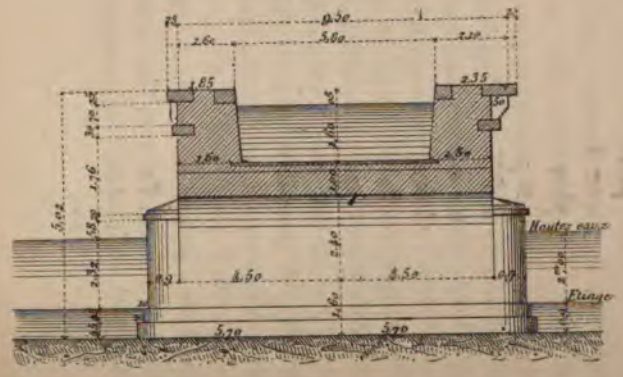
620. Section de la cuvette. — Les ponts-canaux sont, avec les souterrains, les ouvrages les plus coûteux que présente la construction des canaux; leur prix élevé justifie la réduction de leur section à la voie d'un seul bateau, et cette disposition est à peu près universellement appliquée en France. On donne à la cuvette une forme rectangulaire ou à peu près, dont la largeur et la profondeur sont combinées de telle sorte que la section mouillée du canal soit égale à une fois et demie au moins, et mieux à deux fois la section mouillée du bateau ; dans ces conditions, l'eau refoulée par les bateaux en marche peut s'échapper dans l'espace vide qui les entoure, et il ne se produit pas de remous gênant. Plus le pont-canal est long, et plus l'excès de section doit être considérable, afin que le rétrécissement soit le moins gênant possible pour le transit. Lorsque les ponts canaux, d'ailleurs, ont une grande importance, ils sont habituellement suivis d'écluses accolées qui rachètent leur grande élévation, en sorte que la navigation s'y pratique par convois successivement ascendants et descendants, ce qui justifie la réduction de largeur de la cuvette sur toute leur étendue.

621. Chemin de halage. — La cuvette est bordée de deux chemins de halage placés à 0^m, 50 au dessus du niveau normal des eaux ; on leur donne une largeur variable de $1^m,50$ à 3 mètres. Le plus souvent, on adopte 2 mètres, parce que le halage sur les ponts-canaux se pratique de préférence à bras d'hommes. S'il n'y a qu'un chemin de halage sur le canal, la largeur des deux banquettes, qui le continuent sur le pont, peut être réduite du côté du contre-halage. Dans tous les cas, on gagne de l'espace autant que faire se peut, en plaçant le couronnement en encorbellement par rapport aux têtes du pont, et en faisant usage de garde-corps en fer, afin de restreindre le plus possible l'espace consacré à cette protection qui est, on le conçoit, indispensable.

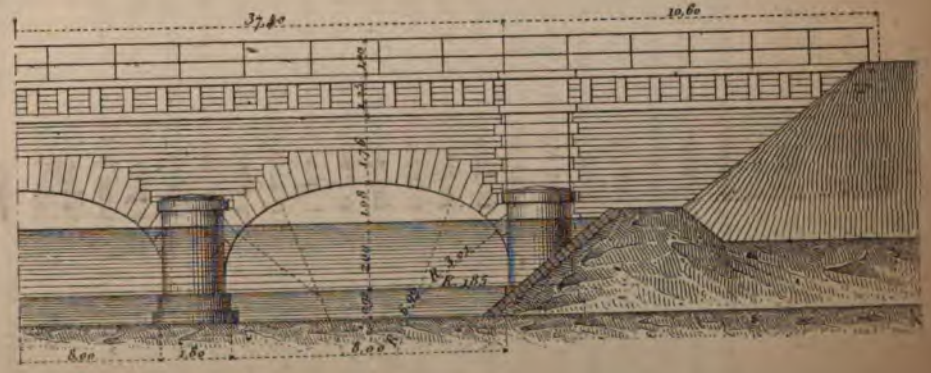
622. Aspect des ponts-canaux. — Malgré cette disposition qui allège la masse, l'aspect des ponts canaux est toujours lourd. La grande hauteur des maçonneries, qui règnent

PONT-CANAL DE BAR-LE-DUC

Coupe transversale.



Élévation partielle.



sans interruption de l'intrados des voûtes au couronnement, contraste avec les proportions hardies que l'on est habitué à admirer dans les ponts, et l'œil en est assez désagréablement affecté (voir la fig. ci-contre). Au pont-canal de l'Orb, cet effet a été combattu par l'établissement de galeries voutées sous chaque chemin de halage. Les ouvertures multipliées de ces galeries rompent la monotonie des tympans et constituent un étage superposé à la voûte proprement dite. Il en résulte une décoration très monumentale, mais dispendieuse, et un peu riche peut-être pour un ouvrage utilitaire comme l'est un canal. On obtiendrait, croyons-nous, un effet analogue à un prix moindre, en établissant un bandeau bien accusé au niveau du plafond du canal, et en plaçant dans les maçonneries qui soutiennent les chemins de halage de simples refouillements figurant des arcades. En changeant, en outre, la nature des matériaux, et en y mêlant par exemple la brique à la pierre, on obtiendrait à peu de frais une dissemblance qui romprait l'uniformité du parement et donnerait au spectateur la perception immédiate des dispositions intérieures, ce qui est la meilleure des justifications.

La construction des ponts-canaux obéit aux mêmes lois que celle de tous les autres ponts; nous renvoyons, pour ce qui la concerne, aux autres volumes de l'Encyclopédie des Travaux publics. Nous devons toutefois insister sur deux points, d'abord la nécessité d'une fondation sûre, en raison du poids à supporter; et ensuite les précautions à prendre pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage. Il suffit de signaler le premier, mais il convient de s'arrêter quelques instants sur le second.

L'étanchéité absolue des ponts-canaux est très difficile pour ne pas dire impossible à obtenir, non seulement à leurs abords, mais encore et surtout sur l'ouvrage lui-même.

623. Étanchéité de la cuvette. — Sous l'influence des variations de température, les matériaux qui constituent les voûtes augmentent ou diminuent de volume, et la voûte s'abaisse ou se relève à la clef, d'une quantité qui n'a pas été mesurée, mais qui est certainement appréciable. Le tympan, pour suivre ce mouvement, est obligé de se fissurer verticalement

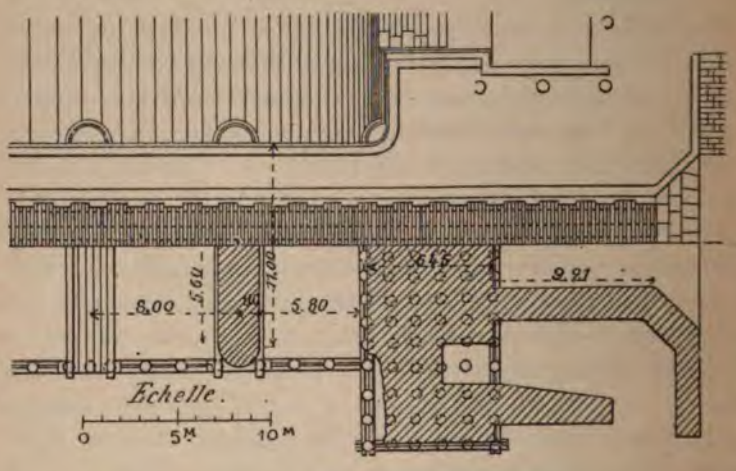
sur le point fixe, c'est-à-dire au droit de la pile; et, plus le tympan est haut, plus la fissure est nécessairement large à sa partie supérieure. C'est, en effet, à l'aplomb des piles que l'on rencontre toujours les gerçures des maçonneries; quant aux fuites qui en sont la conséquence, elles ont lieu l'hiver surtout, c'est-à-dire quand la clef s'est abaissée le plus possible, ce qui justifie l'explication que nous venons de donner. On conçoit d'ailleurs, combien il est difficile de remédier à un effet de ce genre avec une substance aussi peu élastique que la maçonnerie; et jusqu'ici, il faut le reconnaître, on n'y a pas réussi.

Au pont-canal du Guétin, sur le canal latéral à la Loire, M. Jullien avait revêtu la cuvette, dans tout son pourtour, de laves de Volvic bien jointives; sur ces laves, il avait placé une double chape en bitume, à joints croisés; les plus grands soins avaient été apportés à l'exécution, et l'on a pu espérer quelque temps que, grâce à l'élasticité du bitume, l'étanchéité serait obtenue. Il n'en a rien été. Sous l'influence des variations de température, le bitume, infiniment plus dilatable et plus contractile que les maçonneries, s'est séparé d'elles, et les filtrations ont reparu. Les réparations elles-mêmes deviennent, en pareil cas, un danger, car, pendant les chômages, l'enduit subit successivement l'action du soleil et les fraîcheurs de la nuit, de telle sorte qu'il se boursoufle en des points où il adhérait auparavant, alors que la couche d'eau qui le recouvrait y maintenait une température moins variable.

En somme, ce qui nous paraît encore le plus sûr, c'est un enduit de ciment mélangé de sable, posé sur des maçonneries bien avivées; les deux substances, à peu près identiques, ne se séparent pas; elles se fissurent ensemble, il est vrai, mais les réparations sont faciles, et n'entraînent avec elles aucun inconvénient.

Assurément les pertes qui s'effectuent par ces gerçures, capillaires au début, sont sans importance au point de vue du volume. Avec de bonnes maçonneries, elles seraient même peu redoutables, comme entraînement de matières, si elles ne donnaient accès de la manière la plus fâcheuse à l'action de

tion des maçonneries et des remblais autour des culées. Ces pertes, en effet, sont d'autant plus dangereuses que, sous l'influence de l'écoulement, elles s'élargissent rapidement et donnent naissance à une véritable brèche par laquelle tout un bief peut se vider en quelques heures et causer les plus graves avaries. On doit faire en sorte, d'abord d'employer d'excellents remblais dans le voisinage des culées, en apportant à leur confection quelques-uns des soins dont nous parlerons plus tard à propos des digues de réservoirs en terre ; ensuite, il faut élargir les culées de manière à constituer un puissant terre-plein au droit de l'origine des voûtes, entre la cuvette et les murs en retour, lesquels devront être reportés à quelques mètres des têtes. Enfin, il convient même, si les fondations et les maçonneries ne sont pas trop coûteuses, de prolonger les



têtes du pont-canal dans le terre-plein comme on l'a fait à Saint-Florentin sur le canal de Bourgogne. Cette ingénieuse disposition, en plaçant un diaphragme étanche entre la cuvette et chaque mur en retour, force les filtrations qui tendent à se produire le long des maçonneries à suivre un parcours sinueux, sur lequel il serait plus aisé de les intercepter si elles venaient à se produire.

Nous ne croyons pas avoir besoin d'ajouter qu'une surveillance continue doit être exercée sur ces points, afin que le mal

puisse être réparé dès le début, si malgré ces précautions on voyait apparaître des suintements.

625. Prix des ponts-canaux en maçonnerie. — Le prix des ponts-canaux en maçonnerie varie dans de très larges proportions, suivant les dimensions adoptées, les matériaux employés et les difficultés de fondation. Ces ouvrages ont rarement coûté moins de trois mille francs par mètre courant, et nous ne pensons pas que les plus chers aient dépassé de beaucoup dix mille francs. Parmi les plus remarquables, nous citerons le pont-canal d'Agen sur le canal latéral à la Garonne, et celui du Guétin sur le canal latéral à la Loire.

626. Ponts-canaux en fonte. — Les renseignements que nous venons de fournir font comprendre comment, dans certains cas, on a cherché à substituer le métal à la maçonnerie.

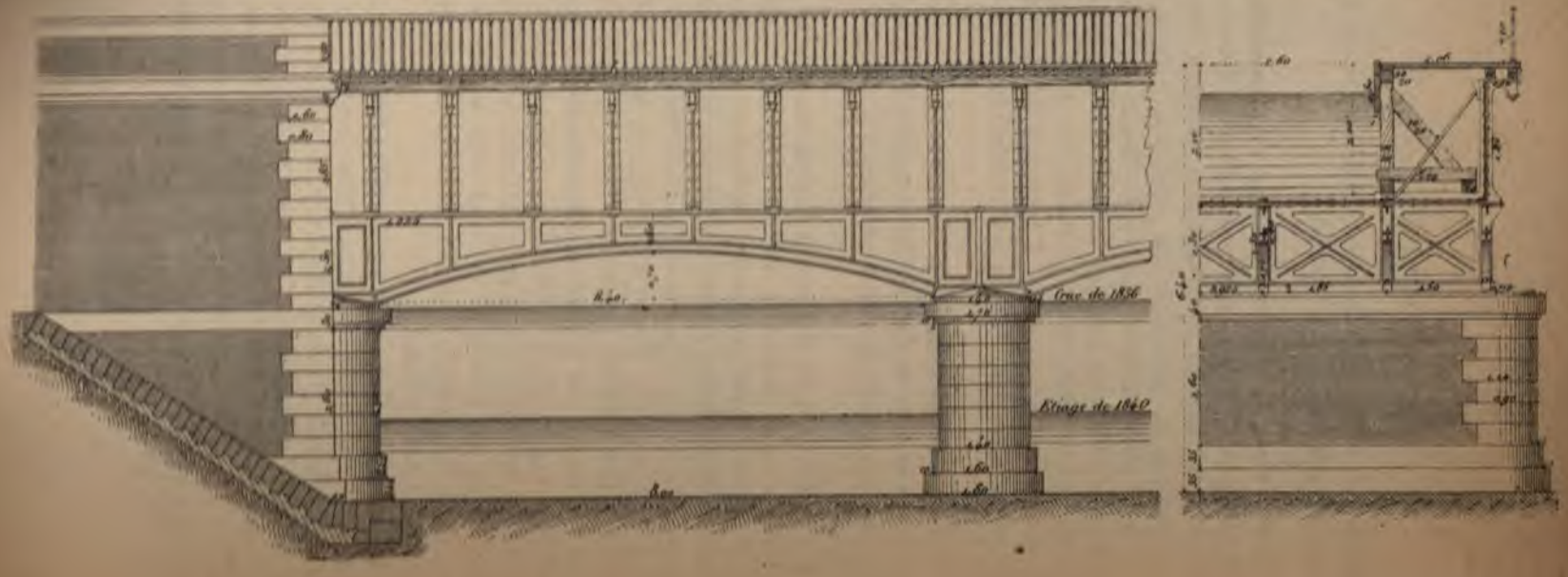
La figure ci-après représente le pont canal de Barberey, sur la haute Seine, un peu en aval de Troyes, où une cuvette en fonte est supportée par des arcs également en fonte. Ces arcs, semblables d'ailleurs aux arcs employés pour les autres ponts, ne sont reliés à leur partie supérieure que par les plaques du fond de la cuvette. Quant à celle-ci, ses parois latérales sont formées par d'autres plaques de fonte de $0^m,02$ d'épaisseur, dont les bords sont retournés d'équerre comme les collets de certains tuyaux de conduite d'eau et s'assemblent de même avec des boulons. Ces parois latérales sont en outre maintenues par des tirants en fer, qui vont des bords supérieurs des faces à la plaque de fond immédiatement au-dessus du deuxième arc en fonte.

La banquette de halage, large de 2 mètres, est placée en dedans et en saillie sur la cuvette. Cette disposition a l'avantage d'élargir la voie d'eau et de diminuer par suite la résistance au halage. Le plancher de la banquette est cloué sur des pièces de bois longitudinales supportées par la paroi de la cuvette et par de petites fermes en charpente, contre lesquelles on fixe des madriers longitudinaux qui les défendent contre le frottement des bateaux.

CANAL DE LA HAUTE-SEINE. PONT-CANAL DE BARBEREY

Elévation partielle.

Demi-coupe transversale.



Ce pont éprouva quelques avaries lorsqu'il fut livré à la navigation. La fonte présente toujours ce danger : que le retrait du métal se fait sentir sur certaines pièces plus que sur d'autres, et que les conditions de résistance s'en trouvent changées. On a du reste remplacé les pièces brisées, et le pont canal a convenablement rempli depuis sa destination.

627. Ponts-canaux en tôle. — Le pont-canal de l'Albe (figures des pages 192 et 193) est entièrement en tôle et se compose de trois travées métalliques, dont les deux extrêmes ont $12^m,50$ d'ouverture et celle du milieu 17 mètres. Deux poutres verticales de 3 mètres de hauteur, espacées de $6^m,80$, sont l'élément résistant pour supporter le poids de la cuvette. Ces poutres, réunies à leur partie inférieure par des pièces de pont distantes de $1^m,40$ d'axe en axe, sont armées extérieurement par de solides consoles en porte-à-faux de $2^m,10$, sur lesquelles s'installent les banquettes de halage. Trois cours de longerons, formés de fers en double T et espacés de $1^m,70$, relient les pièces de pont et supportent les tôles qui constituent le revêtement étanche destiné à supporter les eaux.

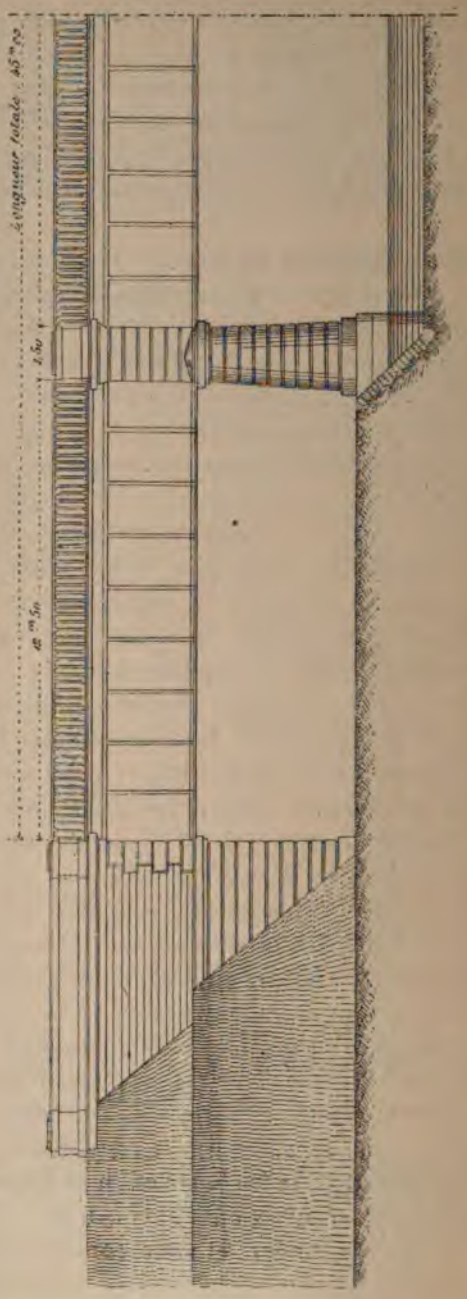
Tout le système repose par l'intermédiaire de rouleaux sur les appuis, et un matelas en laine comprimée reçoit les extrémités de la ferme sur les deux culées ; grâce à ces dispositions l'étanchéité est assurée, malgré les dilatations et les contractions qui tendent à séparer le fer des maçonneries.

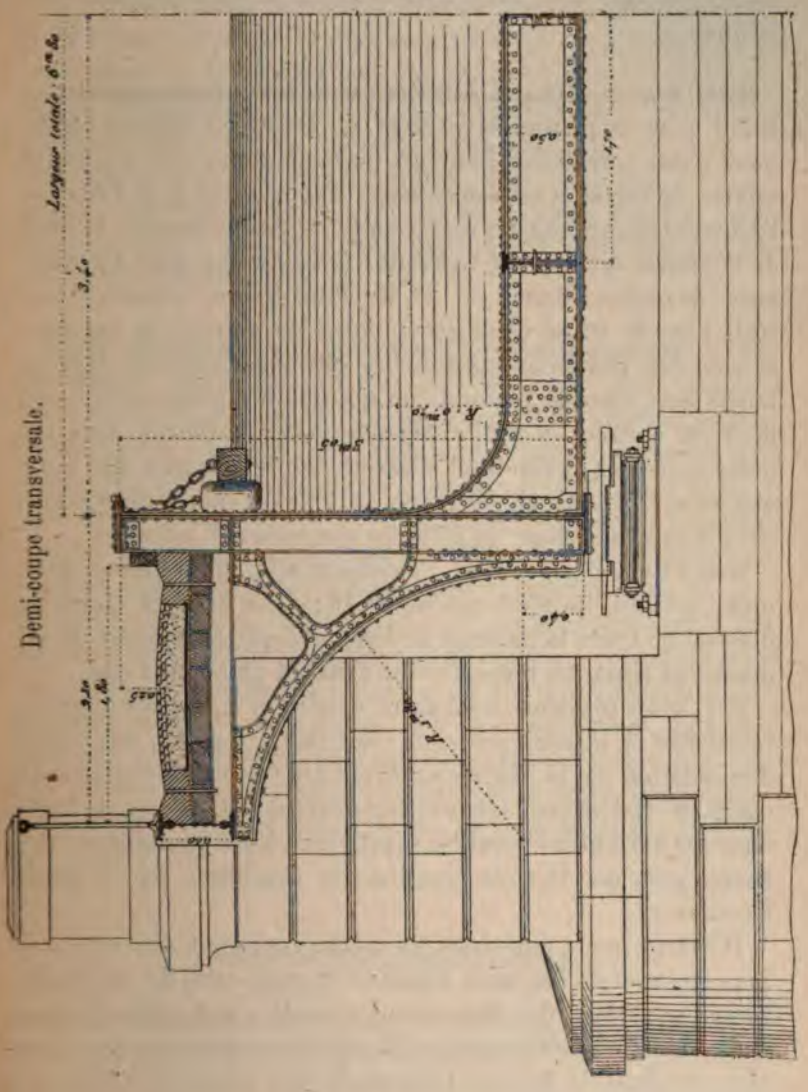
Le long de chacune des parois verticales tombent des poids ronds, sur lesquels roule une pièce de bois longitudinale destinée à éviter tout choc direct aux tôles; l'espace ainsi enlevé à la navigation sert au passage de l'eau refoulée par les bateaux qui traversent ce rétrécissement de section. Il est difficile de trouver, pour le problème des ponts-aqueducs, une solution plus sûre, plus commode et plus économique, comme premier établissement. En ce qui concerne la durée d'un ouvrage de ce genre, nous serons moins affirmatif; il y a lieu, avant de se prononcer, d'attendre la sanction de l'expérience.

Plusieurs ponts-canaux ont été construits sur le même type dans ces dernières années ; et on le conçoit aisément, puisque les principales difficultés disparaissent, au moins au début.

PONT-CANAL DE L'ALBE

Demi-élévation.




Largeur totale, 6m,80
3,40
Demi-coupe transversale.
0,50
1,70
5m,05
R. 0m,70
0,50
0,25
R. 2m,80

Enfin, pour de petites [illegible]
ment d'une très faible hauteur, on peut
mixtes, en métal et en maçonnerie. Tel es
à Charenton, qui fait traverser au canal S
de la Marne dit bras de Gravelle. Cet ou
pose de quatre arches de 2^{m},50 d'ouve
trois piles de 0^{m},80 d'épaisseur. Sous les
ce sont des voûtes en maçonnerie qui su
tandis que, sous le plafond, on n'a que
de 0^{m},03 cintrées et renforcées par quatr
deux extrêmes permettent d'assembler
aux autres. Une couche de béton de 0^{m},07
cette voûte métallique et relie les maçonn

Grâce à cette disposition, l'épaisseur à
nulle, puisqu'elle n'est que de 0^{m},10; et
dispose de toute la hauteur de débouché
donner la situation respective du canal et

Il y avait toutefois une autre conditi
résistance à la sous-pression, car, sur
d'inondation de la Marne s'élèvent plus
canal. M. Malézieux y a pourvu en ancran
dans les maçonneries qui les supportent,
fisante pour que la sous-pression soit é
à soulever.

D'autres ponts aqueducs du même g
pour le canal de Meaux à Chalifert et p

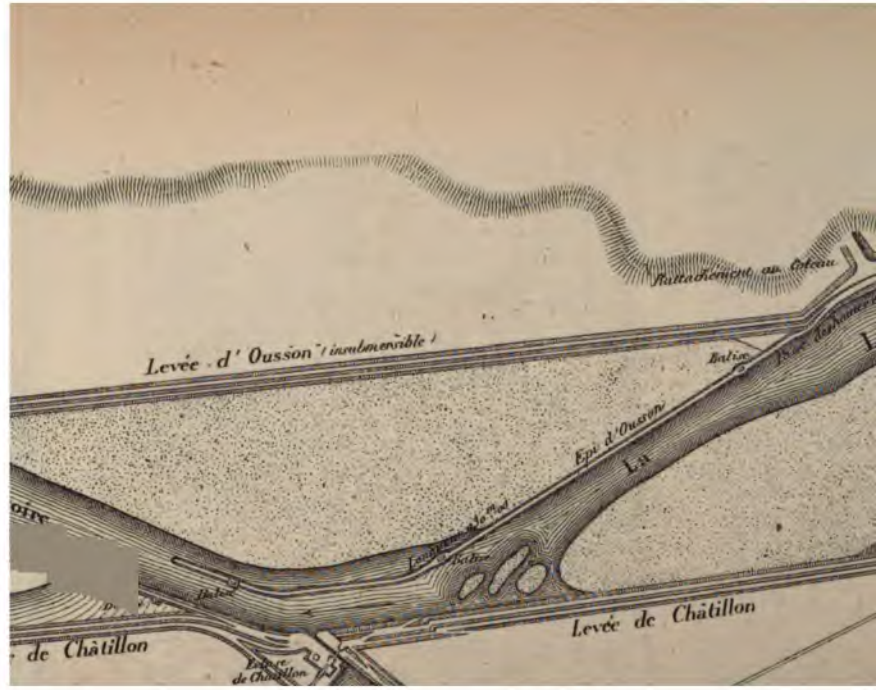
s'accommoderait peut-être mieux que la fonte de ce genre d'efforts, parce qu'elle est plus malléable.

L'inconvénient des ponts mixtes est de mettre en contact, sous l'eau, un métal et des maçonneries, c'est-à-dire deux substances de dilatabilité différente, entre lesquelles il y a nécessairement disjonction et perte. Ces pertes sont peu considérables, il est vrai, et avec des soins d'entretien on peut les réduire à n'être que des filtrations ; mais elles n'en sont pas moins une cause d'avaries, en temps de gelée surtout, et le système mixte, excellent pour répondre à un besoin local, n'est pas à généraliser.

629. Danger des gelées pour les ponts-canaux. — Ne terminons pas sans rappeler que tous les ponts-canaux, quels qu'ils soient, ont beaucoup à redouter l'effet des gelées intenses sur l'eau qu'ils contiennent. Indépendamment des effets fâcheux que nous avons déjà signalés, la force expansive de la glace dans la cuvette même est ce que l'on peut trouver de plus nuisible à la durée de l'ouvrage. Si les parois sont en métal, elles doivent forcément s'écarter et les assemblages en souffrent. Si, au contraire, ce sont deux murs qui limitent le pont, la poussée amène dans les voûtes au pied des murs des disjonctions que les gelées subséquentes transforment en lézardes, et le mal croît très rapidement. Les gardiens de ces ouvrages devront toujours entretenir libre une zone d'une certaine largeur, en cassant la glace longitudinalement, à mesure qu'elle se forme, le long d'un des murs de la cuvette.

Traversée des rivières à niveau.

630. Possibilité de traverser les rivières à niveau. — Les difficultés que présente la construction des ponts-canaux, leur haut prix, ont fait rechercher des moyens plus faciles et plus économiques pour traverser les grands cours d'eau. Le procédé le plus simple est évidemment de faire pénétrer les bateaux en lit de rivière, d'y traverser cette rivière, et de re-


Rattachement au Coteau
Levée d' Ousson (insubmersible)
Epi d'Ouzoux
Levée de Châtillon
de Châtillon

prendre ensuite la voie navigable artificielle, sur la rive opposée. Voici quelles ont été les dispositions auxquelles on a eu recours pour assurer le passage des bateaux du canal latéral à la Loire, entre les branches de rive droite et de rive gauche, à Châtillon près de Briare.

631. Traversée de la Loire à Châtillon. — Le canal latéral, en sortant de la gare de Châtillon, sur la rive gauche, descend en Loire par une écluse qui devait avoir primitivement 3 mètres de chute, et qui a maintenant près de $3^m,50$, par suite de l'abaissement du plan d'eau. Les bateaux, après avoir franchi cette écluse, suivent l'épi de Châtillon jusqu'à la rive droite, descendent là jusqu'en aval du pont suspendu, puis rentrent par l'écluse des Combles dans la branche de jonction avec le canal de Briare, après un parcours d'environ 1000 mètres d'une écluse à l'autre; l'écluse des Combles, alimentée par le dernier bief du canal de Briare, a, lorsque les eaux de la Loire sont basses, $1^m,40$ de chute.

Pour assurer le tirant d'eau nécessaire à la navigation sur ce parcours commandé, on a ramené toutes les eaux de la Loire à l'écluse de Châtillon à l'aide de l'épi d'Ousson qui a 1130 mètres de longueur et 1 mètre de largeur au-dessus de l'étiage.

Parallèlement à sa partie terminale, et diagonalement à la rivière, règne l'épi de Châtillon qui a 650 mètres de longueur, $1^m,35$ au-dessus de l'étiage et 4 mètres de largeur en couronne; sa plate-forme est formée d'un pavage maçonné, et ses parements perreyés; il est mis en communication avec le pont suspendu au moyen d'une rampe qui se développe autour de la pile.

Pour faire passer les bateaux de l'écluse de Châtillon à celle des Combles, lorsqu'ils sont arrivés dans la direction du thalweg, on les abandonne au courant, et ils se laissent dériver ainsi jusqu'en face de l'embouchure de cette dernière écluse dans laquelle on les hale à la corde, de la rive droite.

Lorsque les bateaux remontent, la manœuvre est plus compliquée. Une fois qu'ils sont sortis de l'écluse des Combles, des chevaux les halent jusqu'en amont du pont, par la rive

par bateau descendant et 10 francs par bate
inconvénients sont, d'ailleurs, très nombreu
les faire connaître rapidement.

Le premier de tous et le plus grave résult
n'est jamais certain de rencontrer en lit de rivi
de bonne navigabilité que présente un canal.
en réunissant les eaux sur le court trajet qui
écluses, y assurer un tirant d'eau au moins
canal latéral par un dragage spontané : il n'e
approfondissements se sont produits, il est vr
rivière a changé sur la partie du lit qui se m
la vitesse s'est accélérée, l'étiage s'est aba
d'eau est resté bien au-dessous de celui que
tenir, surtout pendant la longue période des
Loire. Il arrive à ce moment que, durant l
gare de Châtillon s'encombre de bateaux q
petite crue pour pouvoir se rendre aux Comb
parfois plusieurs semaines, s'ils ne prennent
leur chargement. Le passage en Loire forme
arrêt à l'étiage.

En second lieu, il y a, pour le transit, u
tudes des plus fâcheuses. La navigation da
sûre, si facile, que le matériel n'a pas bes
qu'exigent, au contraire, un fort courant
assez compliquées. Au sortir des écluses,
violemment entraînés le long des digues qu
vent les y pousse ; l'effort de remorque, pou

Enfin, aussitôt que les eaux dépassent le niveau de l'épi d'Ousson, c'est-à-dire 1 mètre au-dessus de l'étiage, le courant qui se déverse sur sa crête vient frapper normalement l'épi de Châtillon ; les bateaux y seraient alors poussés sans aucun moyen de résister, puisque le halage ne peut se faire qu'au-dessous du courant ; ils ne s'y exposent pas, et attendent la baisse des eaux.

De ce que nous venons de dire, il résulte que le passage en Loire de Châtillon est forcément interrompu quand les eaux dépassent un peu la moyenne ; il l'est fréquemment quand elles sont basses, et, en dehors de ces deux cas, lorsqu'on peut l'utiliser, ce n'est jamais avec des facilités comparables à celles que présente un pont aqueduc. Si donc cette traversée de la rivière a coûté moins cher qu'un pont-canal, elle est bien loin de rendre les mêmes services. Il est juste de dire que le projet primitif n'a pas été complétement exécuté. Tout en laissant subsister sur la rive droite la branche perpendiculaire à la rive, on devait prolonger la partie parallèle au cours de l'eau jusque vers Ousson, où se serait trouvée une autre écluse en rivière. Alors, les bateaux descendants auraient été, comme aujourd'hui, de Châtillon aux Combles, mais les bateaux ascendants auraient continué sur la rive droite jusqu'à Ousson, et n'auraient eu qu'à descendre pour se rendre à Châtillon. On aurait ainsi évité toutes les difficultés qui se rattachent à la manœuvre à la remonte, mais les autres inconvénients auraient toujours subsisté, et il est probable que le passage aurait toujours laissé beaucoup à désirer.

632. Traversée de la Loire à Decize. — A Decize, où le canal du Nivernais, d'une part, et un embranchement du canal latéral à la Loire, sur la rive opposée, doivent être réunis, la jonction s'opère dans le remous du barrage mobile construit dans cette localité. La tenue de ce bief spécial de la Loire a une grande analogie avec celle des biefs du canal, et la navigation y est, par suite, plus facile qu'à Châtillon, tout en restant soumise aux éventualités que présente souvent le transit en rivière.

avait retiré le pa[illegible]
caissement pour recevoir les eaux lorsqu'e
de gravier et d'alluvion. De plus, on avait c
plus étroit du bas que du haut, ayant exa
du passage rétréci, et portant des rebords
à l'encaissement du lit du torrent. Des aile
teau, se rabattaient sur les deux bajoyers, d
on prévoyait l'arrivée des eaux, dont l'écou
plusieurs jours, on mettait le bateau en pla
après la cessation de l'écoulement. Ce moy
qu'il fût, n'a pas eu d'autre application, et c
qu'il résultait de cette disposition que l
suspendue pendant tout le temps que le Lib

On a exécuté en 1855 un ouvrage qui prés
conditions. On l'a disposé de telle manière
de faire couler à volonté le torrent dans de
distants d'un intervalle plus grand que la
teau.

Ces deux bras peuvent être fermés, av
versée du canal, par des vannages adapt
maçonnerie, qui isolent à volonté les deu
massifs servent en même temps de culées à
nerie espacés de 3^{m},60 et larges de 1 mèt
le canal parallèlement les uns aux autres.
arcs, espacés comme les piles correspond
sont placés deux rails, de sorte qu'un chen
à chaque intervalle conservé entre les
roulants, placés sur ces rails, l'un en fac

Les choses ainsi établies, les deux passages sont ouverts quand le Libron est à sec.

Lorsqu'il devient torrentiel, on le fait couler dans l'un des systèmes de bâches, l'autre étant ouvert, de sorte que les bateaux, venant du côté ouvert, peuvent se placer dans l'espèce de sas compris entre les deux passages. Quand tous les bateaux marchant dans ce sens sont arrivés dans le sas, on déplace le passage du Libron de manière à permettre aux bateaux de continuer leur parcours.

Il était nécessaire, toutefois, d'assurer le jeu des bâches sur les maçonneries, et, pour cela, il fallait empêcher que les galets charriés par le Libron vinssent se déposer sur le radier parcouru par elles. On y a pourvu au moyen de tabliers à bascule dont la charnière est fixée au seuil et qu'on soulève lorsque l'on veut faire reculer les bâches. La manœuvre s'effectue au moyen d'un treuil placé sur le pont qui réunit toutes les piles d'une même rive.

Dans l'ouvrage fort compliqué que nous venons de faire connaître sommairement, et qui a coûté six cent mille francs, il y a de grandes difficultés vaincues, et une solution que justifiaient les précédents. Mais il ne faut pas moins que cette raison pour le motiver, et nous ne pensons pas que ce soit un type à imiter pour la traversée des rivières en général, en raison des sujétions qui s'y rattachent.

634. Résumé. — En résumé, les traversées à niveau ne sont acceptables que quand elles peuvent s'effectuer à travers une rivière canalisée d'un régime presque aussi sûr que celui d'un canal; elles s'imposent près de l'embouchure des fleuves, parce que la navigation maritime s'oppose à la construction de tout passage supérieur. Mais en dehors de ces cas et pour peu que le trafic à desservir soit un peu actif, il est rare qu'on n'arrive pas, avec le temps, à reconnaître que les ponts-canaux sont la seule véritable solution du problème.

635. Déperditions d'un canal. — Après
nière dont peut se construire un canal, dans
tracé, ses écluses, ses ponts (dont nous avon
des dérivations), et enfin dans les ouvrages spé
par la traversée des affluents, nous avons à
l'eau qui remplit sa cuvette et qui doit être
gré les pertes qui peuvent se produire, à un
si l'on veut que la navigation soit assurée.

Étudions donc le mode de formation des pe
tance qu'il est possible de leur attribuer, d'apr
connus, afin d'arriver à la meilleure réalisatio
qui doivent y correspondre.

Tout canal est soumis à deux genres de d
distinctes. Les unes, comme la consommatio
les éclusées, ou comme les filtrations appare
des points déterminés et peuvent se mesurer
ximativement ; les autres, comme l'évaporat
les écoulements d'eau par fausses manœuvres
tions d'avaries, sont générales, simultanées,
qu'avec une très grande difficulté. Nous les e
cessivement.

Déperditions apparentes.

636. Consommation d'eau par les écl

d'aval[1]. Il est assurément possible de réaliser des économies sur ce volume, parce que souvent deux bateaux, l'un montant et l'autre descendant, peuvent profiter de la même éclusée ; mais si l'on veut rendre la navigation prompte, et passer sans délai tout ce qui se présente, l'alternance n'est pas le cas général. Il faut, d'ailleurs, la suite le montrera, être très large dans ses évaluations en pareille matière, et l'on devra, toute compensation faite, compter comme perdues autant d'éclusées

1. Pour certains Ingénieurs la proposition que nous venons d'émettre n'est pas exacte. En appelant P le prisme représenté par une éclusée opérée à vide, et F le volume déplacé par un bateau, tout bateau montant consomme P + F, parce qu'il renvoie dans le bief d'aval son propre déplacement ou F ; tout bateau descendant n'use que P — F, parce qu'il renvoie son déplacement dans le bief d'amont.

Nous ne saurions être de cet avis. Chaque bateau qui descend fait perdre au bief d'amont, non seulement le volume P — F en eau, mais encore le volume F qu'il occupait dans le bief, et qu'il faut remplacer par de l'eau tirée des réserves, si l'on ne veut pas que le niveau baisse.

De la même manière, tout bateau ascendant demande bien au bief supérieur le volume P + F, puisqu'on écoule dans le bief inférieur une quantité égale à P + F, mais il occupe le volume F dans le premier, de telle sorte que les réserves n'ont perdu que P.

Il s'ensuit que, dans un cas comme dans l'autre, le volume consommé par une éclusée est égal à P.

En fait, la déperdition totale est à peu près la même, de quelque manière que l'on calcule, puisque la somme d'une montée et d'une descente est 2 P dans tous les cas, et qu'il y a d'habitude à peu près autant de bateaux montants que de bateaux descendants. En théorie, et même dans le cas où le trafic n'est pas équilibré, on pourrait être amené à des erreurs fâcheuses par la manière de voir que nous combattons.

Supposons, en effet, une écluse de section horizontale s et de chute c ; admettons que les bateaux qui la fréquentent aient une section horizontale égale à 0,90 s, et un tirant d'eau égal à H quand ils sont en charge, à h quand ils sont vides.

Alors P sera représenté par sc.

F sera égal à 0,90 S H quand le bateau sera chargé ; il deviendra 0,90 sh quand la coque sera vide.

Si nous considérons successivement un bateau chargé descendant et un bateau vide montant, on aura dépensé dans le premier cas :

S (c — 0,90 H), et dans le second S (c + 0,90 h).

La consommation totale sera donc S (2c — 0,90) (H — h), et il suffira que l'on ait c = 0,45 (H — h) pour que la perte soit nulle.

Si même c est plus petit que 0,45 (H — h), ce qui est réalisable avec des écluses à très faible chute, la perte serait négative, c'est-à-dire qu'il y aurait gain pour le bief d'amont, aux dépens du bief d'aval.

Or, si l'on veut bien réfléchir à ce qui se passe dans les manœuvres d'éclusage, on verra que l'on tire, toujours et nécessairement, de l'eau du bief d'amont pour l'écouler ensuite dans le bief d'aval ; d'où suit une impossibilité absolue qu'il y ait de l'eau remontée.

On en conclura que l'hypothèse première est fausse, puisqu'elle conduit à une impossibilité.

de son approvisionnement.

Nous ferons remarquer ici que la consomma
éclusée a une limite assez rapprochée, car l'exp
qu'il est difficile de faire traverser une écluse
de 50 bateaux dans un jour. On a donc, au
éclusées, et si le volume d'une éclusée est de 75
la dépense n'excède pas 35 à 40.000 mètres cub
comme l'eau se transmet de bief en bief, cette
est afférente à tout le canal, et représente, par
ligne navigable de 100 kilomètres par exemple
mation de 350 à 400 mètres cubes par jour et
Encore ce chiffre doit-il être considéré tout à
maximum, car avec 50 éclusées par jour, c'
une journée de manœuvres continues, il est évi
tain nombre de bateaux, marchant dans un sens
des éclusées des bateaux en sens contraire, ce
dans chaque cas une réduction de moitié d
d'eau.

Nous verrons plus tard que cette déperdition
à ce que l'on serait tenté de croire au premier
loin d'être la principale consommation des cana
les lignes peu fréquentées. Avec des bateaux
nes en moyenne, une circulation annuelle de
(laquelle dépasse celle de l'ensemble de nos car
5.000 bateaux par an, c'est-à-dire 20 bateaux
comptant que 250 jours de navigation. On n'
20 éclusées ou 15.000 mètres cubes, ou enfin 1
par jour et par kilomètre pour un canal de

visions qui s'établissent sur le trafic, et fournit par suite la valeur de la ressource à créer.

637. Fuites ou renards. — Nous ne parlerons que pour mémoire des filtrations apparentes, c'est-à-dire des fuites ou renards qui se font jour à travers les parois de la cuvette, car partout où l'on en reconnaît l'existence, on se hâte de les faire disparaître. Au cas où, temporairement, on serait obligé de les laisser subsister, on les jaugerait, et on en imputerait le débit journalier aux biefs dans lesquels elles prennent naissance.

638. Pertes par les portes d'écluse. — On pourrait être tenté de ranger encore au nombre des pertes apparentes l'eau qui s'échappe des portes d'écluse ; nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de le faire. D'abord, chaque bief reçoit à peu près du bief supérieur, autant d'eau qu'il en envoie au bief inférieur ; en second lieu, comme on le verra par la suite, le système d'alimentation des canaux exige, sur le plus grand nombre d'écluses, qu'on tire constamment un peu d'eau d'amont pour desservir les besoins de l'aval, et il importe peu que cette eau passe par les fissures des portes ou par les ventelles. Enfin, avec une bonne construction et un entretien soigné, la perte devrait être faible, surtout aux écluses qui terminent le canal.

Là, en effet, le raisonnement que nous faisions tout à l'heure pécherait, car toute l'eau que ces portes laissent passer est définitivement perdue ; nous admettons donc qu'aux écluses finales les portes sont et doivent demeurer étanches. L'eau est trop précieuse, surtout avec le grand mouillage qu'on veut donner aux canaux aujourd'hui, pour qu'on puisse la laisser perdre ; et, par suite, si les portes finales causent une déperdition sensible, il faut les changer, plutôt que d'en évaluer la perte pour la compenser par un accroissement de ressources.

639. Remplissage du canal après chômage. — Vient enfin le remplissage du canal après chômage, car la consommation d'eau qu'il exige est importante et donne lieu à une perte nette équivalente au volume d'eau dépensé. Ce volume

représente 26 mètres cubes au mètre coura
mètres cubes par kilomètre.

Quant à la seconde partie, elle dépend de la
sol et rentre par là dans les déperditions non-a
ce que nous en dirons ici, c'est qu'après un c
de quelque durée, un mois par exemple, en
serait imprudent de compter moins que po
partie, dans les biefs les plus favorables, s
entendu où la cuvette aurait été revêtue en ma

En résumé, les déperditions apparentes sont
fuites ou renards, et le remplissage de la cu
mage. Toutes peuvent se chiffrer, si ce n'est l
laquelle nous avons donné un minimum, en
possible de faire le bilan de ce qu'exige, po
chaque bief ou chaque groupe de biefs.

Déperditions non apparentes.

**640. Causes principales des déperditi
rentes.** — Viennent ensuite les déperditions
qui ne s'apprécient que par la pénurie qu'elles
importante est due à l'évaporation et à la fil
les terres ; la seconde résulte des fausses m
présentent dans le service le mieux organisé,
l'équilibre des biefs n'est parfaitement main
d'une certaine quantité d'eau en excès ; la

riables, et qui échappent tant à l'examen. Aussi nous bornerons-nous à donner quelques chiffres qui fourniront une simple idée de ce que l'on a à redouter, en le jugeant d'après le très petit nombre d'observations faites.

641. Evaporation et filtration. — L'évaporation et l'imbibition, qui est le commencement de la filtration, sont deux phénomènes dont l'effet se fait sentir en même temps, car toute action vaporisatrice est desséchante, et tend par suite à accroître l'altération des terrains. Toutefois, l'imbibition varie dans une très grande mesure avec la perméabilité qui change elle-même avec le temps, quand des dépôts se sont produits dans la cuvette. On se trouve donc en face, comme nous le disions tout à l'heure, d'un effet dont les causes sont extrêmement complexes et qui, contrairement à ce qui devrait être, a été très peu étudié.

Gauthey avait évalué au canal du Centre toutes les déperditions, y compris celles qui sont apparentes, à 180 mètres par jour et par kilomètre. L'expérience a montré que cette évaluation était beaucoup au-dessous de la vérité, même en supposant nulles les pertes apparentes.

Au canal du Midi, M. Minard estime que l'abaissement journalier des biefs abandonnés à eux-mêmes est de $0^m,03$ à $0^m,04$ par jour, ce qui pour un mouillage de $1^m,60$, représente de 450 à 600 mètres cubes par jour et par kilomètre.

M. Comoy a reconnu, au canal du Centre, que l'on devait compter, pour évaporation et imbibition, sur 350 mètres cubes par jour dans les biefs les plus favorisés, et sur 500 mètres cubes dans les autres. Ajoutons que ces derniers sont généralement dans de bons terrains, et doivent encore être rangés parmi ceux dont l'étanchéité est satisfaisante. (*Annales* de 1851, 1er semestre.)

D'après M. Charié-Marsaines (*Annales de* 1851, 1er semestre) les pertes par évaporation du bief de partage du canal du Nivernais représenteraient une hauteur d'eau annuelle de $1^m,335$, et les pertes par filtration, à travers la cuvette du canal, seraient doubles des premières. Le chiffre de $1^m,335$ serait déduit d'une règle empirique assez contestable, posée par Halley, et de la-

La branche la plus récente du canal du Centre, qui réunit cette voie navigable au canal latéral à la Loire, perdait en 1840, après un curage nécessité par quelques éboulis, 19.000 mètres cubes par vingt-quatre heures ; ou 3.800 mètres cubes par jour et par kilomètre.

En somme, c'est être relativement étanche pour un canal récent que de perdre, par évaporation et par imbibition, moins de 1.000 mètres cubes par jour et par kilomètre ; de telle sorte que si ce canal a seulement 1.000 kilomètres de longueur, cette déperdition devient aisément triple, quadruple, quintuple même de celle qu'entraînent les éclusées.

Encore devons-nous faire observer que les chiffres que nous venons de citer correspondent à des canaux dont le tirant d'eau n'est que de $1^m,60$, et que la déperdition a grande chance de croître lorsque le mouillage deviendra de 2 mètres. On a observé, au canal de la Marne au Rhin, qu'avec $1^m,60$ de mouillage, on perdait deux fois plus d'eau qu'à la hauteur de $1^m,20$; et, sans tirer une conclusion formelle de ce fait, dont les détails ne nous sont pas connus, nous avons cru devoir le rapporter pour faire comprendre la nécessité, en matière d'alimentation, de faire une très large part aux besoins des canaux.

On conçoit, d'ailleurs, combien peuvent être variables par bief et par année les déperditions dont nous venons de nous occuper.

Dans l'intérêt de l'avenir, on agira sagement en s'efforçant de faire des expériences directes, toutes les fois que les circonstances le permettront, pendant les chômages accidentels par exemple, et on observera alors de combien baissent les biefs, lorsqu'ils sont livrés à eux-mêmes, ou ce qu'il faut dépenser d'eau pour maintenir leur tenue normale. Sans doute ces expériences, en quelque sorte accidentelles, seront peu précises ; mais, quelles qu'elles soient, elles jetteront un certain jour sur une matière qui, il faut le dire, est très peu connue.

A plus forte raison ces expériences sont-elles nécessaires à chaque remplissage, car à ce moment l'imbibition et les filtrations s'augmentent dans une énorme proportion. Au canal de l'Aisne à la Marne, en 1881, on avait été forcé de mettre à sec

le bief de partage, et l'on avait par là asséché le massif crayeux et perméable que perce, dans l'étendue de ce bief, le souterrain du Mont de Billy. Par cette issue les nappes aquifères se sont appauvries dans un rayon assez étendu, et il a fallu les reconstituer à nouveau aux dépens des eaux d'alimentation, parce que la saison avait été très sèche. Il en est résulté une absorption qui s'est élevée par moments jusqu'à 40.000 mètres cubes, représentant plus de 3.000 mètres cubes par jour et par kilomètre; la durée du chômage en a été considérablement augmentée, et ce retard était d'autant plus fâcheux qu'il ne pouvait être précisé d'avance, puisque le bief de partage, depuis l'époque de la construction, n'avait jamais été vidé. Observons d'ailleurs que si, au lieu d'être exceptionnellement sèche, la période de remplissage avait été pluvieuse, le canal aurait reçu au lieu de donner. Cette incertitude de plus montre quel avantage ont les canaux à pouvoir s'isoler au besoin du pays qui les entoure, tout en demeurant à même de profiter, le cas échéant, des ressources à leur portée.

En résumé, pour les pertes par évaporation et filtration pendant l'été, on ne doit pas compter moins de 3 à 400 mètres cubes par jour et par kilomètre, dans les parties du canal les plus favorisées.

5 à 600 mètres cubes représentent la déperdition moyenne des canaux en service depuis longtemps.

1.000 mètres cubes forment la part des canaux en service à partir d'un laps de temps moindre.

Et pour les canaux neufs, ou que des travaux récents ont mis en communication directe avec le sol avoisinant, la consommation est indéterminée et ne peut s'apprécier que par expérience. Elle s'élève facilement à 3 ou 4.000 mètres cubes par kilomètre et par jour.

642. Pertes par fausses manœuvres. — Les pertes par fausses manœuvres sont d'autant plus restreintes que le personnel est plus exercé, et le canal mieux surveillé. Néanmoins, comme nous l'avons dit plus haut, elles sont inévitables, et en voici le motif.

Tous les biefs n'ont pas leur alimentation spéciale, loin de

là; la plupart empruntent leurs eaux au bief supérieur, et les éclusiers ont pour consigne, aussitôt qu'ils voient baisser leur bief d'aval, d'ouvrir un peu leurs vannes pour ramener le niveau normal aux dépens du bief d'amont. L'agent préposé à l'écluse supérieure en fait autant, et l'emprunt se propage ainsi, de bief en bief, jusqu'aux réserves alimentaires. Or, tous les biefs n'ont pas la même longueur et s'influencent différemment pour un même temps d'écoulement par les vannes. Les émissions d'eau brusquement attaquées, brusquement interrompues, comme dans les éclusages, entraînent la formation d'ondes dans les biefs, et par suite d'oscillations aux échelles, circonstance qui trompe les éclusiers. Bref, on se trouve en face d'incertitudes qui font que nécessairement on envoie un excès d'eau, lequel se perd par les déversoirs, et il n'est pas possible de faire autrement, si l'on veut que les biefs soient tous à leur niveau. Au canal du Centre, M. Comoy évaluait cette perte à 4.000 mètres cubes par jour, pour le canal du Centre tout entier, ce qui représente 34 mètres cubes par jour et par kilomètre.

Comptons sur 50 mètres cubes.

643. Pertes pour réparation d'avaries. — Viennent enfin les pertes d'eau résultant des bateaux échoués et d'avaries aux ouvrages d'art du canal.

Le cube de ces pertes est d'autant plus restreint que la tenue des biefs est meilleure et que le canal est mieux entretenu. M. Comoy l'estime à 1.000 mètres cubes par jour pour tout le canal du Centre, ce qui représente le quart des déperditions par fausses manœuvres. Ne nous arrêtons pas à ce détail qui n'est qu'une minime partie de la consommation des canaux et résumons-nous, en ce qui concerne les déperditions non apparentes, en disant qu'au chiffre des provisions relatives à l'évaporation et aux filtrations il convient d'ajouter une centaine de mètres cubes, par jour et par kilomètre, pour les fausses manœuvres et la réparation des avaries. Ce chiffre, plus fort que celui que nous avons cité plus haut, répond aux éventualités plus graves que fera naître l'accroissement du tirant d'eau.

Déperditions douteuses.

En outre des causes de perte d'eau que nous avons passées en revue, on en a signalé quelques autres dont l'influence nous paraît douteuse, au moins avec la manière de compter que nous avons adoptée.

644. Mouvements des ports. — On a vu des déperditions dans les mouvements des ports situés sur le parcours du canal, parce que les bateaux qui les fréquentent, tantôt pleins et tantôt vides, semblaient pouvoir amener aux éclusages une consommation d'eau plus grande dans un sens que dans l'autre. Nous avons fait voir que tout bateau qui s'écluse consomme, en eau utile, un prisme de remplissage; il n'y a donc pas lieu de revenir sur cette dépense d'eau, comptée au bilan du bief où sont placés les ports.

645. Différences de longueur dans les biefs et de chute dans les écluses. — On a encore compté comme pertes la différence de consommation des biefs suivant leur longueur, et des écluses suivant leur chute. Nous ne pensons pas qu'on ait la faculté d'en agir ainsi. Il est certain que les inégalités de longueur dans les biefs et de chute dans les écluses entraînent des ruptures d'équilibre dans les niveaux et nécessitent des émissions d'eau; toutefois, ces émissions ne sont pas des pertes, puisqu'elles s'utilisent en aval à combler le déficit qu'amènent les filtrations et l'évaporation. Si elles n'étaient pas nées du passage des bateaux, il aurait fallu les produire artificiellement, et dès lors elles ne sont pas des pertes : elles en entraînent avec elles comme toute rupture d'équilibre, mais nous en avons tenu compte à propos des ses manœuvres, et il n'y a pas lieu de les compter deux

Effet des écluses échelonnées. — A cette dis- rattache l'examen de l'effet que produisent, sur

l'alimentation d'un canal, les écluses échelonnées. En partant de la manière de voir que nous combattions tout à l'heure, on attribue à la consommation pour la navigation autant d'éclusées qu'il passe de bateaux à l'écluse dont la chute est la plus forte; et, dans le même ordre d'idées, on compte les écluses échelonnées comme fournissant une consommation d'autant d'éclusées qu'il y a d'échelons.

Cette estimation amène à des chiffres exagérés. Ici, comme dans le cas précédent, la consommation qui se fait, quelle que soit son importance, va au canal après utilisation, et compense les déperditions non apparentes; elle n'est donc pas une perte.

Mais nous allons plus loin, et nous estimons que les écluses échelonnées ne méritent pas le jugement trop sévère qu'on a porté sur elles. Nous nous arrêterons un moment sur ces remarquables ouvrages, établis par des ingénieurs du plus grand renom, et qui, à ce titre seul, ont des chances pour présenter de sérieux avantages.

D'abord, elles se justifient d'habitude par la nécessité où l'on se trouve, soit par le passage d'un affluent, soit par un accident du sol, de changer brusquement de niveau. Elles s'imposent, par cela même, et on les subit plus qu'on ne les recherche, en raison du prix élevé qu'elles coûtent. En second lieu, si on les examine comme appareil de navigation appliqué à une chute considérable, on verra qu'elles ne méritent pas le blâme dont on les a frappées.

Elles consommeraient un peu plus d'eau et beaucoup plus de temps que les autres écluses, si l'on voulait, comme à celles-ci, passer successivement un bateau montant et un bateau descendant; mais, il n'en est pas ainsi, parce que la navigation y est réglée par convois descendants et ascendants. Alors si l'on examine attentivement la manœuvre d'ensemble qui s'opère, on reconnaît que l'eau de chaque échelon est employée à l'échelon suivant, et que l'on peut écluser à la fois autant de bateaux qu'il y a d'échelons. On ne peut donc pas dire qu'il y a perte d'eau et de temps. Il nous semble, au contraire, qu'une écluse unique, rachetant toute la hauteur de chute, serait encore beaucoup plus coûteuse, consommerait

plus d'eau et nécessiterait au moins autant de temps pour être complètement manœuvrée.

Serait-ce que l'on considérerait cette sujétion des convois comme une gêne? C'en est une évidemment, mais la gêne ne vient pas des écluses échelonnées, elle vient de la chute considérable qu'elles rachètent; et, ceci étant acquis, il ne faut pas s'exagérer un inconvénient qui s'atténue d'ailleurs beaucoup de ce qu'il est très rare et parfaitement connu à l'avance. Les mariniers naviguent habituellement à peu de distance les uns des autres, afin de se prêter assistance mutuelle en cas de besoin ; le halage a des instants de repos inévitables et cette double circonstance autorise la réglementation des passages aux écluses échelonnées, qui avoisinent le plus souvent des passages rétrécis. Ajoutons que, sans cette réglementation, les passages rétrécis donneraient naissance à de perpétuels conflits ; de telle sorte que si les écluses échelonnées ne la motivaient pas, la police de la navigation y conduirait nécessairement.

§ V

ALIMENTATION DES CANAUX LATÉRAUX

Nous avons vu les diverses déperditions que subissent les canaux ; examinons maintenant la meilleure manière d'y remédier, en ce qui concerne les canaux latéraux dont nous nous occupons actuellement.

647. Répartition des ressources alimentaires sur une ligne navigable. — Les canaux latéraux, placés dans des vallées importantes, puisent d'habitude la plus grande partie de leur eau d'alimentation à leur origine même, dans la rivière qu'ils suppléent, et il semble qu'il y ait là une ressource facile et inépuisable. Ce que nous avons dit plus haut de la manière dont se distribue la consommation montrera que les choses ne se passent pas tout à fait ainsi.

D'abord, le plus souvent, la vallée est d'autant plus commerçante qu'on la descend davantage, et les éclusées se multiplient à mesure que l'on va de l'amont à l'aval. Il s'ensuit que chaque bief perd plus qu'il ne reçoit de ce chef, et s'appauvrirait s'il ne recevait une alimentation supplémentaire de celui qui le précède.

Les pertes par évaporation et par imbibition peuvent demeurer constantes par kilomètre, mais, plus on descend la vallée, plus le volume total progressif qu'elles consomment devient considérable. Si, pour les compenser, on a recours à la prise d'eau située en tête du canal latéral, on est obligé de dériver de ce point unique un volume d'eau d'autant plus fort que le canal est plus long, ce qui crée un courant très gênant pour la navigation ascendante.

Cette gêne n'est pas la seule. Le courant alimentaire dont nous venons de parler et que les éclusiers, par une ouverture convenable de leurs ventelles, entretiennent, ne se propage ni instantanément, ni régulièrement, parce qu'il n'influence pas de la même manière un bief court ou un bief long ; il se produit alors fréquemment, pendant ces manœuvres, des oscillations dans le niveau de chaque bief, qui trompent les éclusiers et contribuent à exagérer les fausses manœuvres, de telle sorte que le tirant d'eau n'est plus constant et que la circulation en souffre.

Enfin, lorsqu'à la suite des chômages on a à remplir le canal et qu'on est obligé de faire venir de l'origine, pour la cuvette seule, autant de fois 26.000 mètres cubes qu'il y a de kilomètres à remplir, on prolonge d'une manière très considérable la suspension de la navigation. Il est difficile, en effet, sans nuire aux ouvrages du canal, de demander à celui-ci un débit moyen supérieur à 3 mètres cubes par seconde ; la plupart du temps, d'ailleurs, le cours d'eau supérieur aurait peine à fournir plus sans porter préjudice aux riverains. A ce taux, on prendrait 10.000 mètres cubes à l'heure, c'est-à-dire qu'il faudrait deux heures pour remplir un kilomètre de canal et 200 heures ou 8 à 9 jours pour une voie d'eau de 100 kilomètres, en ne comptant que la cuvette. Or, si l'on réfléchit qu'après un chômage d'été les terres sont desséchées, et absorbent par im-

bibition une notable partie de l'eau introduite, on doublera l'évaluation en temps et on portera à deux semaines au moins le temps nécessaire à rétablir le tirant d'eau normal d'un canal asséché sur 100 kilomètres. C'est, en effet, ce qui arrive sur le canal latéral à la Loire après les chômages généraux, pendant les années assez sèches pour que les petits affluents tarissent.

Notons en passant quel puissant intérêt se rattache à la diminution aussi grande que possible des chômages généraux, non seulement au point de vue du commerce à desservir, mais encore à celui de l'alimentation des canaux.

Tous les inconvénients que nous venons de signaler n'existeraient pas si chaque bief avait son alimentation propre, et ces mêmes inconvénients s'atténuent d'autant plus que les sources d'alimentation sont plus multipliées sur le parcours du canal. On est donc conduit à scinder l'étendue d'un canal en un certain nombre de groupes de biefs et à alimenter à part chaque groupe, afin que, suivant le principe très logiquement posé par M. Comoy, « l'eau ait la moins grande longueur possible de canal à parcourir pour arriver au point où elle est utile ». Il est impossible de poser des chiffres à ce sujet; un canal étanche et peu fréquenté peut avoir ses prises d'eau très espacées ; un canal perméable et parcouru par de nombreux bateaux demande, au contraire, une alimentation très multiple. Tout ce qu'il est permis de dire, c'est que l'emprunt moyen d'un mètre cube par seconde à l'origine de chaque groupe, pour compenser toutes les pertes, doit être considéré comme un maximum à ne jamais atteindre, car il suffit à gêner beaucoup la navigation ascendante et à multiplier les écarts de tirant d'eau dans une proportion non moins fâcheuse, surtout lorsqu'il existe des rétrécissements.

On aura donc, autant que faire se pourra, une prise d'eau en tête du canal, et des prises d'eau successives étagées sur son cours, suivant les besoins constatés ou prévus, et en tenant compte des ressources alimentaires dont on peut raisonnablement et économiquement disposer.

Prise d'eau principale à l'origine du canal latéral.

648. Conditions générales d'établissement. — La discussion à laquelle nous venons de nous livrer ne doit pas peser sur les dispositions à prendre en ce qui concerne la prise d'eau d'origine. Cette prise d'eau se fait dans le cours d'eau principal de la contrée, et est par conséquent la ressource la plus sûre; il y a toutes chances pour qu'elle se maintienne, alors même que les affluents s'assécheraient, et l'ouvrage doit être conçu dans tel esprit que les besoins du canal puissent y être assurés, jusqu'à la rencontre d'un autre cours d'eau sur lequel on puisse également compter. On n'est pas tenu d'utiliser son débit complet; mais, en cas de besoins urgents, il vaudrait mieux avoir recours à ce moyen que de s'exposer à un chômage.

A cet effet, on établit en lit de rivière un barrage fixe ou mobile, suivant les cas; on oriente la berge aux abords de manière à jeter le courant sur la rive où doit se faire l'emprunt, et là on construit deux ouvrages distincts, l'un pour la navigation qui veut passer de la rivière au canal, l'autre exclusivement réservé à l'alimentation.

649. Ouvrage destiné à la navigation. — L'ouvrage destiné à la navigation est une écluse à sas, avec portes de garde insubmersibles et digues aux abords, de façon à ce que le canal soit parfaitement à l'abri des inondations. Nous nous en référons, pour ce qui concerne cette écluse, à ce que nous avons exposé au sujet des dérivations, car un canal latéral n'est qu'une très longue dérivation. Nous nous bornerons à ajouter que l'écluse de tête a, d'habitude, un radier horizontal à hauteur convenable pour assurer, sur son seuil, le tirant d'eau d'étiage que présente la rivière; quant à la chute, elle varie de $0^m,50$ (limite inférieure) à la différence de niveau qui existe, en hautes eaux de navigation, entre les deux cours d'eau. Le minimum de $0^m,50$ est, dans notre pensée, la surélévation à laquelle le barrage doit amener, en étiage, les eaux de la rivière au-dessus du plan d'eau normal du canal. C'est, à

notre avis, une revanche indispensable pour assurer, dans les cas exceptionnels, une charge convenable sur les ventelles des premières portes; c'est, en même temps, un moyen de surhausser le premier bief que les tirements d'eau inférieurs affectent beaucoup quand le canal est un peu long, et qui doit être lui-même préparé pour cette éventualité d'un niveau variable de $0^m,50$.

Nous appellerons d'autant plus l'attention sur les exigences spéciales du premier bief d'un canal latéral, que ce bief reçoit, par sa position, les dépôts des eaux empruntées à la rivière et que son plafond s'exhausse rapidement. On a donc à redouter, pour les bateaux qui y stationnent, une double cause d'échouage, et la revanche que nous avons indiquée est une véritable nécessité.

650. Ouvrage destiné à l'alimentation. — La prise d'eau d'alimentation s'établit aux approches de l'écluse, dans l'amplitude du remous, et doit être assez large pour que l'emprunt s'effectue par une lame superficielle dont la vitesse ne soit pas supérieure à celle de la rivière; le but de cette limitation est que les matières en suspension y soient le moins possible entraînées. Un vannage placé en arrière du déversoir permet de régler son débit suivant les besoins, et, grâce à cette précaution, on peut diminuer dans une notable mesure les dragages périodiques du premier bief, dragages qu'il est d'ailleurs impossible d'éviter complètement.

Cette double communication du canal et de la rivière rend l'alimentation indépendante de la navigation qui entre dans le canal, ce qui est un grand avantage pour la tenue régulière des biefs; elle assure en outre cette alimentation, quoi qu'il arrive aux ouvrages de tête; toute réparation qui s'y exécuterait compromettrait le tirant d'eau sur toute la longueur de la ligne desservie par la prise d'eau d'origine, et cette considération seule suffirait à motiver le double mode d'introduction des eaux que nous avons recommandé.

Prises d'eau secondaires étagées le long de la ligne navigable.

651. Nécessité de prises d'eau secondaires. — Si de la prise d'eau originelle nous passons aux prises d'eau inférieures, nous tombons dans un tout autre ordre d'idées.

Nous avons vu en effet que, pour beaucoup de raisons sur lesquelles il est inutile de revenir, les canaux latéraux, en quittant le cours d'eau qu'ils remplacent, se jettent immédiatement à flanc de coteau et s'y maintiennent, sauf à rejoindre le thalweg par des embranchements, comme le fait le canal latéral à la Loire à Decize, à Nevers, à Fourchambault et à Saint-Satur, pour desservir les centres commerciaux situés dans la vallée.

Dans cette situation, il ne serait assurément pas impossible de recourir au cours d'eau principal, en dérivant ses eaux dans des rigoles qui auraient une moindre pente que lui et rejoindraient le canal sur les versants. Cette solution de la question serait toutefois assez difficile dans la plupart des cas; elle placerait les rigoles dans les terrains perméables qu'on a voulu éviter au canal; elle couperait les parties du territoire les plus riches et les plus peuplées; enfin, elle deviendrait d'autant plus difficile qu'on descendrait plus bas dans la vallée, parce que la pente du cours d'eau va toujours en diminuant et ses versants en s'écartant.

Il est préférable à tous les points de vue que nous venons d'indiquer, d'emprunter les eaux d'alimentation aux affluents du cours d'eau principal, en les dérivant de leur partie amont, et c'est dans cette direction que sont toujours placées les rigoles alimentaires dont nous avons à parler maintenant.

652. Rigoles dérivées des affluents — Les rigoles alimentaires ont donc pour but d'amener, en tête d'un certain groupe de biefs, l'eau nécessaire à réparer les pertes de toute espèce que subit ce groupe. Elles sont placées, d'après ce que nous venons de dire, sur les flancs des vallées secondaires, c'est-à-dire sur des versants plus roides que ceux sur lesquels le canal est assis, et leur destination unique est, en général,

d'apporter leur tribut aussi régulièrement que possible.

Quelques rigoles ont été rendues navigables sur une partie de leur cours et ont ainsi constitué des embranchements des canaux auxquels elles se rattachent. Celles-là doivent obéir aux lois qui régissent les canaux et nous n'en parlerons pas d'une manière spéciale ; nous nous arrêterons, au contraire, sur celles qui jouent le rôle d'aqueduc et qui, à ce titre, exigent des dispositions tout autres que celles qui s'appliquent aux canaux.

653. Débit à demander aux rigoles. — Si nous nous reportons à ce que nous avons dit plus haut sur l'alimentation des canaux, à savoir que chaque groupe de biefs ne devrait jamais avoir besoin de recevoir plus d'un mètre cube d'eau en moyenne par seconde, nous serions porté à penser qu'il suffirait à chaque rigole de fournir ce volume.

Mais d'une part l'emprunt moyen et régulier d'un mètre cube correspond, avec les variations nécessaires des niveaux des biefs, à un débit tantôt plus fort et tantôt plus faible. La rigole doit donc être à même de fournir au moins $1^{m},50$ par seconde à sa sortie, si le groupe de biefs qu'elle alimente en exige un seul en moyenne.

D'autre part, les rigoles, aussi bien que les canaux, ont leurs pertes par évaporation, par imbibition, par accidents ou fausses manœuvres, etc..., en sorte que si l'on veut être assuré de $1^{m},50$ à la sortie, il en faut beaucoup plus au départ.

En outre, il est indispensable de faire la part de l'avenir, et de parer à l'interruption possible de l'alimentation par une des rigoles voisines, en augmentant le débit de celles qui resteront à même de fonctionner.

Enfin, pour le cas de remplissage du canal, on est heureux de pouvoir, lorsque les ressources des cours d'eau le permettent, porter à son maximum le volume à déverser dans les biefs.

Si l'on réfléchit, d'ailleurs, que les dépenses sont très loin de croître comme le volume transporté, ou même comme la section, on est amené à construire les rigoles de telle sorte que leur débit maximum, à pleins bords, puisse être au moins double et mieux triple du volume moyen qu'elles doivent fournir au canal, à leur tenue d'eau normale.

Le débit étant ainsi évalué en tenant compte, soit des besoins du canal, soit, dans d'autres cas, des limites imposées à l'emprunt par le volume du cours d'eau qui le fournit, on a à en déterminer la section et la pente.

654. Vitesse à donner à l'eau. — La vitesse doit être supérieure à $0^m,30$ par seconde, sous peine de voir les herbes envahir la cuvette; elle ne doit pas dépasser $0^m,80$ pour que les talus de terre puissent y résister; c'est donc entre ces limites qu'on la choisira, en ayant égard à la nature des terrains traversés.

655. Section à adopter. — Des considérations du même ordre aideront à déterminer les dimensions de la section qui est habituellement trapézoïdale avec un plafond de $1^m,50$ à 3 mètres et des talus qui varient, suivant la nature des terrains traversés, entre 1 et 1,50 de base pour 1 de hauteur. Les deux digues latérales s'élèvent de $0^m,50$ à $0^m,60$ au-dessus du niveau d'étiage de la rigole, lequel comporte ordinairement un tirant d'eau de $0^m,80$ à 1 mètre. La largeur des digues n'est pas inférieure à 2 mètres et, en tout état de cause, suffisante pour que le passage d'une voiture soit possible le long du tracé, d'un des côtés au moins. Renoncer à cette facilité par raison d'économie de construction serait grever l'avenir sans grande utilité.

656. Pentes des rigoles. — Ayant ainsi le débit et la section qui fixe le rayon moyen, les formules font connaître la pente qui répond à la vitesse choisie et le tracé s'ensuit. L'inclinaison varie de $0^m,10$ à $0^m,90$ par kilomètre, elle reste d'habitude vers $0^m,50$ à $0^m,60$. Rien ne s'oppose, d'ailleurs, à ce que, dans les passages difficiles, la pente et la section se modifient un peu, pourvu que le débit soit respecté; l'uniformité n'est ici nullement indispensable, et sur les ouvrages d'art, par exemple, il arrive souvent qu'on augmente la pente pour diminuer la largeur de l'ouvrage et réduire d'une quantité proportionnelle le cube des maçonneries. C'est ainsi qu'à la rigole d'Yonne, au canal du Nivernais, la cuvette a été construite

dans la forme d'un rectangle de 2 mètres de largeur et $0^m,80$ de tirant d'eau, tandis que la pente était portée au double de celle qu'indique le calcul à l'étiage pour ces dimensions, afin de répondre, en cas de besoin, au même débit que la section normale.

M. Charié-Marsaines a même pris la précaution d'augmenter également la pente aux abords des grands ponts aqueducs qu'il a eu à construire sur cette rigole, afin que les eaux d'alimentation eussent leur passage parfaitement assuré, quelle que fût leur abondance.

Les rigoles, d'ailleurs, partant d'un niveau fixé à l'avance, et marchant dans une direction inévitable vers les cours d'eau qui peuvent les alimenter, présentent à l'Ingénieur une foule de difficultés qu'il doit nécessairement subir et résoudre. La rigole d'Yonne, que nous avons déjà citée, est au nombre des ouvrages qu'il est bon de connaître, car son exécution, dans un pays assez sauvage, a donné lieu à des travaux fort remarquables qui peuvent servir de types.

Il y a, notamment, un pont aqueduc, celui de Montreuillon, haut de 33 mètres et long de 145 mètres, qui traverse une gorge de l'Yonne sur une suite d'arches de 8 mètres d'ouverture. Son élévation a une surface d'à peu près 3.000 mètres carrés et la dépense n'a été que de 270.000 francs en tout, soit 90 francs par mètre carré. On y trouve également une solution provisoire d'étanchement de la cuvette sur de grands remblais qui mérite d'être retenue, parce qu'elle est d'une application facile. Sur ces remblais, M. Charié a établi, avec tous les bois qui restaient aux chantiers, une bâche calfatée qui a servi au passage des eaux, jusqu'au moment où les remblais se sont suffisamment assis pour recevoir les travaux d'étanchement définitifs.

657. Ouvrages accessoires des rigoles. — Il serait difficile, d'ailleurs, d'entrer dans tous les détails que comportent les rigoles, détails qui varient avec les pays traversés. Elles ont leurs prises d'eau, leurs aqueducs-siphons, et leurs sujétions analogues à celles des canaux, bien que sur une plus petite échelle Nous ne nous y arrêterons que pour recom-

mander certains ouvrages spéciaux qui sont nécessités par le but même qu'elles poursuivent.

Puisque les rigoles servent à amener l'eau des réserves au canal, il faut que l'on puisse, surtout en temps de disette d'eau, vérifier si elles remplissent convenablement leur fonction. Il s'ensuit l'utilité de placer, de distance en distance, dans la cuvette ou latéralement, des ouvrages régulateurs permettant, à un instant donné, un jaugeage approximatif et rapide, par déversement sur un barrage mobile par exemple. On suivra alors, quand on le voudra, la marche des eaux; on constatera les parties qui perdent, et l'on trouvera immédiatement le point sur lequel des recherches doivent être faites, ou des travaux d'étanchement exécutés; ce jaugeage est utile surtout aux points de départ et d'arrivée.

Les dérivations opérées par les rigoles sont un détournement définitif, pour la vallée secondaire, du cours naturel des eaux ; il faut donc, là plus encore qu'ailleurs, séparer bien nettement les intérêts de l'État de ceux des riverains, et établir, en nombre suffisant, les passages destinés aux ruisseaux affluents qui coupent le tracé. Ici, on le remarquera, on peut faire passer les eaux par-dessus ou par-dessous la cuvette sans inconvénient. Par-dessous on placera des aqueducs ou des buses en fonte ; par-dessus, on se contentera de simples augets, jetés d'une levée à l'autre, et restituant ainsi aux propriétés traversées les eaux d'irrigation, dont la privation pourrait entraîner de notables indemnités.

Terminons ce qui concerne les rigoles en notant que leur rôle ira probablement sans cesse en se développant. D'abord, l'élévation générale du mouillage des canaux, en France, en augmentant très notablement la consommation d'eau, conduira à en établir de nouvelles. En second lieu, elles vont porter directement le remède là où est le mal, et mettent partout les ressources à portée des besoins, ce qui est un immense avantage. Enfin, celles qui existent déjà se prolongeront sans doute un jour, partout où ce sera possible, latéralement au canal, dans les contrefossés, de manière à alimenter plusieurs biefs à la fois, au lieu de jeter toutes leurs eaux dans le bief de tête. En un mot, elles fourniront le procédé le plus efficace pour don-

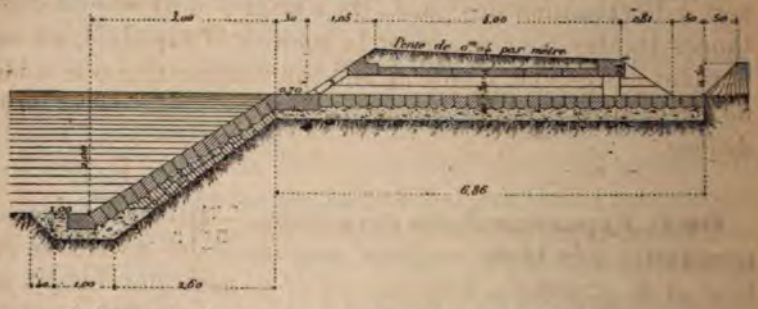
ner aux biefs des canaux la fixité qui leur manque trop souvent, et pour se rapprocher du désideratum de l'exploitation des canaux : « rendre l'alimentation indépendante de la navigation. »

§ VI

EXPULSION DES EAUX DES CANAUX

658. Utilité d'avoir des moyens d'évacuation. — S'il est important que les eaux d'un canal ne descendent pas au-dessous du niveau qui leur a été assigné, il n'est pas moins utile qu'elles ne s'élèvent pas notablement au-dessus; les portes d'écluse seraient surmontées; les digues n'offriraient plus aux propriétés riveraines la même protection contre les infiltrations, la hauteur sous les ponts deviendrait insuffisante, et les chemins de halage pourraient être noyés partout où la hauteur libre à laisser aux animaux a forcé à rapprocher leur niveau de celui de la cuvette. Pour ne pas s'exposer à ces inconvénients, il faut que, dans les biefs où il y a des prises d'eau abondantes, il y ait aussi des moyens d'évacuation. Il en faut également dans les biefs qui, par leur position, permettent de vider entièrement le canal pour y exécuter des travaux. On répond à ce double besoin en construisant des déversoirs de fond et de superficie.

659. Déversoirs de superficie. — Les déversoirs de



superficie sont des ouvrages extrêmement simples ; ils consistent en une coupure de la berge, garnie d'un radier, et suivie

d'un mur de chute solidement fondé, le long duquel tombent les eaux surabondantes du bief, pour s'écouler dans le lit de l'un des ruisseaux que traverse le canal. Cette coupure est recouverte d'un pont qui assure la continuité du halage.

660. Déversoirs de fond et de superficie. — Ces déversoirs de superficie s'exécutent assez rarement, du reste. On préfère, d'habitude, au droit des aqueducs qui assurent le passage des ruisseaux, établir des déversoirs de fond qui servent en même temps de déversoirs de superficie; on s'épargne ainsi la construction de l'un des ouvrages.

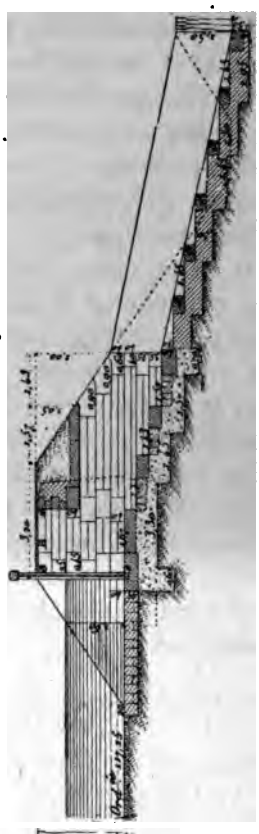
Nous donnerons pour exemple, à la page suivante, le déversoir construit à Troussey sur le canal de la Marne au Rhin. C'est une simple coupure de $3^m,60$ de largeur, pratiquée dans la berge du canal et que ferment trois vannes, dont les deux extrêmes ont $1^m,40$ de largeur, tandis que celle qui est au milieu, large de $0^m,80$ seulement, est percée d'une ventelle permettant de régler à volonté l'écoulement, suivant les exigences. Toutes les trois sont arasées au niveau normal du canal, en sorte que l'arête supérieure forme déversoir de superficie, tandis que la manœuvre plus ou moins accentuée de la fermeture fournit le déversoir de fond.

Ces dispositions, fort simples, sont les plus avantageuses quand le double déversoir doit être isolé. Toutefois, il n'en est pas toujours ainsi ; et l'on a soin, d'habitude, de profiter d'un ouvrage motivé par une autre cause, pour y placer celui qui sert à l'évacuation des eaux. On s'inspire alors des circonstances locales pour combiner la solution d'ensemble, en ne perdant pas de vue, quelle qu'elle soit d'ailleurs, que le mode de fermeture doit être très soigné, pour éviter les déperditions.

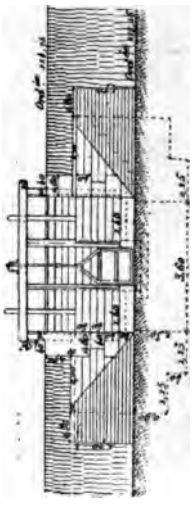
661. Espacement des déversoirs. — Division correspondante des biefs. — Quant au nombre des déversoirs de fond et de superficie, il est impossible de poser des règles à ce sujet; un bief très court suivi d'une chute un peu forte peut se vider, sans perte d'eau, dans celui qui le suit; tandis qu'un

DÉVERSOIR DE FOND ET DE SUPERFICIE

Coupe développée.



Élévation de la tête d'amont.



CANAL DE LA MARNE AU RHIN. DÉVERSOIR DE TROUSSEY.

bief de 10 ou 12 kilomètres doit être muni de plusieurs déversoirs de fond, et pouvoir ne se vider que partiellement.

Pour réaliser cette vidange partielle, on dispose des rainures dans tous les passages rétrécis du canal, et l'on y place un barrage à poutrelles permettant de scinder le bief en autant de parties qu'il y a de déversoirs. Sur les points où l'on prévoit de fréquentes réparations, on prend même des mesures qui facilitent cette manœuvre, en la rendant plus prompte. C'est ainsi qu'au canal de la Marne au Rhin, on a muni la cuvette d'une porte mobile vis-à-vis l'aqueduc du Saut-du-Cerf. Cette porte mobile roule dans une chambre spéciale, et isole en quelques instants, du reste du canal, la portion dans laquelle se trouve le souterrain de Mauvages.

Cette considération est même de nature à justifier, de distance en distance, un rétrécissement au passage d'un pont, dans les limites que nous avons indiquées plus haut. On répond ainsi à un avantage de premier ordre, l'absence de chômage général, absence qui n'est réalisable qu'avec des chômages partiels faciles et nombreux.

CHAPITRE XXIV

DES CANAUX A POINT DE PARTAGE

SOMMAIRE :

§ 1er. *Notions générales sur les canaux à point de partage.* — 662. Formation d'un canal à point de partage. — 663. Canal de Briare. — 664. Du Midi. — 665. De Saint-Quentin. — 666. Du Centre. — 667. De Bourgogne. — 668. Du Nivernais. — 669. Du Berry. — 670. Du Rhône au Rhin. — 671. Canaux de Bretagne. — 672. Canal des Ardennes. — 673. De la Sambre à l'Oise. — 674. De la Marne au Rhin. — 675. De l'Est. — 676. Lacune dans le réseau.

§ 2. *Alimentation des canaux à point de partage.* — 677. Rôle prépondérant de l'alimentation. — 678. Eaux pérennes. — 679. Réservoirs. — 680. Alimentation artificielle à l'aide de machines. — 681. Prépondérance de l'approvisionnement du bief de partage. — 682. Prix du mètre cube d'eau d'alimentation.

§ 3. *Moyens de diminuer la consommation d'eau des écluses.* — 683. Tendance habituelle des recherches. — 684. Bassins d'épargne. — 685. Flotteur de M. de Béthancourt. — 686. Système de M. de Caligny.

§ 4. *Plans inclinés et élévateurs.* — 687. Idée première de ces systèmes. Leurs avantages.

Plans inclinés.

688. Plans inclinés du canal Morris. — 689. De l'Oberland prussien. — 690. De Blackhill. — 691. De Georgetown.

Elévateurs.

692. Transport vertical des bateaux. — 693. Élévateur du Great Western. — 694. Élevateur d'Anderton.

Avantages et inconvénients des divers modes de transport mécanique.

695. Situation particulière des exemples cités. — 696. Avantages des longs biefs. — 697. Sujétions qu'imposent les longs biefs. — 698. Temps à gagner sur le trajet. — 699. Modification dans la capacité de circulation d'un canal. — 700. La comparaison est prématurée. — 701. Résumé.

Figures :

Flotteur de M. de Béthancourt, art. 685. — Plan incliné de Blackhill, art. 690.

Petites planches :

Plan incliné de Blackhill, art. 690. — Plan incliné de Georgetown, art. 691. — Elévateur d'Anderton, art. 694.

§ Ier

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES CANAUX

A POINT DE PARTAGE

662. Formation d'un canal à point de partage. — Si nous supposons deux canaux latéraux remontant, chacun dans sa vallée, les deux versants opposés d'une même chaîne de montagnes jusqu'à un niveau assez élevé pour qu'un bief commun puisse les réunir, la navigation pourra s'établir d'une des vallées à l'autre, et l'ensemble des deux canaux latéraux formera un canal à point de partage.

Le bief commun est le bief de partage, et chacune des branches qu'il réunit prend le nom de la vallée à laquelle il aboutit. Ainsi le canal du Centre a le versant de la Saône et celui de la Loire; le canal de Saint-Quentin a le versant de l'Escaut et le versant de l'Oise, etc. Parfois aussi, lorsque les bassins sont nettement séparés, on adopte la dénomination de la mer dans laquelle tombent les eaux; le canal du Midi, par exemple, a le versant de la Méditerranée et celui de l'Océan.

663. Canal de Briare. — Le plus ancien des canaux à point de partage est le canal de Briare, qui unit le bassin de la Loire à celui de la Seine, en partant directement de la Loire à Briare, et en tombant, à Montargis, dans le Loing canalisé, affluent de la Seine. Ce canal a été exécuté au XVIIe siècle en vertu d'une concession faite par Louis XIV en septembre 1638 aux sieurs Bouteroue et Guyon. Son bief de partage est à 165 mètres au-dessus du niveau de la mer ; le versant de la Loire s'abaisse de 35 mètres, celui de la Seine de 122 mètres, la longueur totale est de 109 kilomètres. Il se relie à Montargis à un autre canal à point de partage, le canal d'Orléans, qui franchit le même faîte un peu en aval et se rattache à la ville qui lui a donné son nom.

664. Canal du Midi. — Quelque temps après, par édit royal d'octobre 1666, fut concédé le canal du Midi, grande et belle ligne, qui unit la Méditerranée à l'Océan, par les vallées de la Garonne et de l'Aude, au moyen d'une voie de navigation artificielle de 240 kilomètres de longueur entre Toulouse et l'étang de Thau. Le bief de partage est placé à 189 mètres au-dessus du niveau de la mer ; la chute est de cette hauteur totale du côté de la Méditerranée et de 57 mètres du côté de Toulouse ; ces différences de niveau sont rachetées par 17 et 44 écluses. Le canal du Midi, construit par Riquet, auquel il avait été concédé, est une œuvre capitale, tant par la conception générale du projet que par les soins qui ont entouré son exécution.

665. Canal de St-Quentin. — Vient ensuite le canal de St-Quentin qui, par l'Oise canalisée, relie la Seine à la Somme, à la Sambre, à l'Escaut, et à tout le réseau navigable de la Flandre. Sa longueur est de 93 kilomètres ; le bief de partage, placé à 83 mètres au-dessus du niveau de la mer, descend de 17 mètres jusqu'au canal de la Somme, et de 35 mètres jusqu'à l'Oise. Sur le versant de l'Escaut, la pente totale est de 38 mètres ; on compte en totalité sur cette voie navigable 35 écluses et 2 souterrains, dont l'exécution a présenté de très grandes difficultés.

666. Canal du Centre. — Le canal du Centre va de la Loire à la Saône, entre Digoin et Chalon. Son bief de partage est à 301 mètres au-dessus du niveau de la mer ; le versant de la Loire, long de 65 kilomètres, descend 80 mètres ; le versant de la Saône, long de 48 kilomètres, en descend 129. Au milieu règne le bief de partage sur 4 kilomètres ; 84 écluses servent à passer d'un thalweg à l'autre.

667. Canal de Bourgogne. — Le canal de Bourgogne unit l'Yonne canalisée, c'est-à-dire le bassin de la Seine, avec la Saône à St-Jean-de-Losne, près Auxonne ; il a 242 kilomètres de longueur. Le bief de partage est à 378 mètres au-dessus du niveau de la mer ; le versant de la Saône a une chute de 200

mètres et celui de la Seine de 300 mètres, rachetées par 191 écluses ; au faîte se trouve le souterrain de Pouilly de 3.300 mètres de longueur.

668. Canal du Nivernais. — Le canal du Nivernais joint la Loire, à Decize, à l'Yonne à Auxerre, après un parcours de 174 kilomètres. Le bief de partage est à 262 mètres au-dessus du niveau de la mer; les chutes de chaque versant sont de 75 et 165 mètres, elles sont rachetées par 116 écluses.

669. Canal du Berry. — Le canal du Berry unit le Cher à la Loire ; son bief de partage est à l'altitude 196 ; le versant de la Loire n'a que 26 mètres de chute, celui du Cher, qui se termine à Noyers, en a 127. Un embranchement, formant lui-même canal à point de partage, se sépare à Fontblisse de la branche principale et va à St-Amand et Montluçon desservir ces centres industriels. On retrouve là deux chutes de 27 et 41 mètres. L'ensemble des distances verticales parcourues est donc de 221 mètres, rachetées par 115 écluses.

670. Canal du Rhône au Rhin. — Le canal du Rhône au Rhin remonte la vallée du Doubs, et franchit le faîte à Belfort ; un seul de ses versants est aujourd'hui en France. Il a été décrété le 6 septembre 1792 et termine la liste des créations du dernier siècle.

671. Canaux de Bretagne. — Le canal d'Ille-et-Rance qui réunit la Manche à l'Océan par les bassins de l'Ille et de la Vilaine, et le canal de Nantes à Brest, ont été commencés en 1804 et 1811. Ce dernier présente trois biefs de partage dont les chutes, en partant de la mer, sont alternativement 199 et 129 mètres ; 64 et 146 mètres ; 17 mètres et 15 mètres. Ensemble 580 mètres que rachètent 235 écluses. La ligne navigable, longue de 360 kilomètres, emprunte, près de Nantes, le lit des deux rivières d'Erdre et d'Isac sur 30 kilomètres de longueur ensemble.

672. Canal des Ardennes. — Le canal des Ardennes unit la Meuse à l'Aisne, qui fait partie du bassin de la Seine ; il a 88 kilomètres de longueur et 48 écluses ; son bief de partage, à l'altitude 162 mètres, se tient à 18 mètres au-dessus des eaux de la Meuse, et à 101 mètres au-dessus de celles du canal latéral à l'Aisne. Le versant de l'Aisne présente une pente très forte sur les 9 premiers kilomètres, qui renferment 26 écluses.

673. Canal de la Sambre à l'Oise. — Le canal de la Sambre à l'Oise, qui unit la Sambre canalisée au canal de St-Quentin, a 67 kilomètres de longueur. Son bief de partage, à l'altitude 138 mètres, ne domine que de 6 mètres le niveau de la Sambre à Landrecies, mais laisse au versant de l'Oise une chute de 89 mètres. Il compte 38 écluses, et s'alimente en partie à l'aide de machines.

674. Canal de la Marne au Rhin. — Le canal de la Marne au Rhin va de Vitry-le-François à Strasbourg, sur 315 kilomètres de longueur, et comprend deux biefs de partage qui lui font franchir l'Argonne et les Vosges.

Le versant de la Marne, long de 88 kilomètres et haut de 180 mètres, est réuni par un bief de partage de 9 kilomètres au versant de la Moselle, long de 55 kilomètres et haut de 84 mètres.

Au bas du versant de la Moselle règne un bief bas de 18 kilomètres de longueur jusqu'à Nancy ; là commence le versant de la Meurthe, long de 56 kilomètres et haut de 69 mètres, qui aboutit à un second bief de partage de 30 kilomètres, à l'altitude 266 mètres.

Enfin vient le versant du Rhin, dont la longueur, de 59 kilomètres, correspond à une chute de 131 mètres. Cette dernière partie, le bief de partage des Vosges et 20 kilomètres du versant de la Meurthe, n'appartiennent plus à la France depuis 1871.

Ce grand ouvrage, exécuté de 1840 à 1852, renferme 181 écluses et cinq souterrains dont un, celui de Mauvages, a plus de 4 kilomètres de longueur.

675. Canal de l'Est. — Mentionnons encore le canal de l'Est dont l'exécution se poursuit en ce moment, et qui relie à la Saône la vallée de la Meuse et celle de la Moselle, remplaçant ici, sur le territoire français, les voies navigables annexées à l'Allemagne. Cette belle ligne aura 480 kilomètres de longueur entre Givet et Port-sur-Saône. Elle empruntera le canal de la Marne au Rhin sur 18 kilomètres environ, la Meuse canalisée sur 278, la haute Moselle canalisée sur 70, le reste du parcours constituant le canal à point de partage proprement dit, long de 114 kilomètres entre Châtel et Port-sur-Saône. Le bief de partage à Girancourt franchit les Vosges à l'altitude 361 mètres, de telle sorte que le versant de la Saône descendra de 154 mètres et celui de la Meuse de 261 mètres. Dans ce dernier chiffre ne sont pas comprises la montée et la descente qui correspondent à la différence de niveau qui existe entre la Meuse et la Moselle, soit 39 mètres à monter et à redescendre, en plus, pour les bateaux.

676. Lacune dans le réseau. — Nous ne terminerons pas cette nomenclature sans faire remarquer que les deux bassins de la Charente et de la Garonne, qui aboutissent sur le littoral à des établissements maritimes d'une grande importance, ne sont reliés ni au bassin de la Loire, ni au bassin de la Seine, par des voies de navigation intérieure. C'est une lacune évidente dans le réseau ; des études se poursuivent pour la combler; plusieurs tracés sont en présence, et les compétitions pourront retarder la solution, mais il est à souhaiter qu'elle intervienne promptement. Le Sud-Ouest pourra alors échanger plus facilement ses récoltes et ses importations contre les produits industriels du Centre, du Nord et de l'Est, et ne sera pas forcé, pour les matières lourdes et encombrantes au moins, de recourir aux transports coûteux des chemins de fer.

§ 2

ALIMENTATION DES CANAUX A POINT DE PARTAGE

677. Rôle prépondérant de l'alimentation. — Nous avons vu, en nous occupant des canaux latéraux, quelle importance prenaient, dans leur trafic, les questions d'alimentation Ces mêmes questions deviennent tout à fait prépondérantes sur les canaux à point de partage. Sur ceux-ci, en effet, les vallées parcourues, plus rapides, plus abruptes en général que la vallée principale, imposent au tracé des sujétions qui laissent l'Ingénieur moins libre d'éviter les déperditions, tandis que, d'autre part, le bief de partage, situé en un point culminant, n'offre plus les ressources que fournit aux canaux latéraux la prise d'eau qui leur sert d'origine. On éprouve donc pendant la saison d'été, sur la plupart des canaux à point de partage, de grandes difficultés à assurer la navigation, et les moyens de se procurer les eaux seront le premier sujet de nos recherches.

Le bief de partage forme sur chaque versant la tête de chaque branche, et tous les bateaux qui le traversent lui empruntent deux éclusées. Sa consommation pour la navigation est double, par suite, de celle des autres biefs, et s'obtient en faisant la somme des éclusées qui se pratiquent à ses deux extrémités.

Il a à fournir, en outre, sur chaque versant, à la consommation des biefs qui le séparent de la première rigole alimentaire possible, et l'ensemble de ces volumes constitue le minimum à lui attribuer; ce minimum sera largement calculé, d'ailleurs, pour tenir compte des besoins de l'avenir et devra être assuré même pendant la saison sèche, parce que c'est à la fois l'époque du plus fort trafic et de la plus grande pénurie d'eau.

678. Eaux pérennes. — A la hauteur où se trouve le plus souvent le bief de partage, les sources sont ordinairement faibles l'été, et le débit qu'elles donnent insuffisant. Quelles qu'elles soient, toutefois, il faut commencer par les utiliser, parce qu'elles sont l'approvisionnement le plus économique, et la première étude à faire est celle des cours d'eau situés au-dessus du niveau du bief de partage, dans la région montagneuse qui l'avoisine.

Chacun de ces cours d'eau doit être l'objet de jaugeages aussi prolongés que possible, afin d'en constater le débit général, et principalement le volume d'étiage pendant les années les plus sèches ; on en déduit le premier approvisionnement d'eau réalisable. On tient compte, pour l'apprécier, d'abord de sa diminution possible en raison des circonstances qui abaissent à notre époque l'étiage de tous les cours d'eau, et ensuite des besoins de la vallée secondaire à laquelle doit se faire l'emprunt. Il arrive fréquemment, en effet, que les ruisseaux qu'on pourrait dériver dans le canal font mouvoir une suite d'usines étagées sur leur cours, et dont la force motrice totale a une valeur considérable. Supprimer ou même modifier ces établissements, c'est entrer dans une voie dangereuse sous le rapport des indemnités à payer, et on ne doit s'y engager qu'après s'être sûrement renseigné sur la valeur des usines et sur les titres valables qu'elles peuvent posséder aux termes des règlements administratifs. Nous ferons une observation analogue en ce qui touche les besoins agricoles, l'irrigation notamment, qu'il serait imprudent d'amoindrir sous prétexte d'intérêt général, et qui trouverait des défenseurs autorisés à tous les degrés de l'échelle hiérarchique. On s'efforcera donc de ne prendre que les eaux surabondantes, ou si l'on est forcé d'aller au delà, on arrêtera préalablement sur des données incontestables, à défaut de convention amiable, le chiffre des indemnités à payer.

679. Réservoirs. — A défaut d'eaux pérennes, il faut nécessairement recourir aux eaux d'hiver, les emmagasiner dans des réservoirs établis sur les parties de vallées plus élevées que le bief alimentaire, et déterminer la hauteur des retenues

d'après les besoins à desservir d'une part ; et, d'autre part, d'après la possibilité de réaliser l'approvisionnement voulu avec les eaux du bassin qui domine le réservoir.

Les besoins à desservir nous sont connus par jour, ou tout au moins nous connaissons les bases sur lesquelles nous pouvons nous en rendre compte ; mais nous ignorons encore pendant combien de jours, les eaux pérennes faisant défaut, l'alimentation devra être artificielle.

Le jaugeage des ruisseaux est appelé à fournir ce renseignement. Après avoir évalué le minimum qu'il est nécessaire de conserver à chacun d'eux pour respecter les droits existants, ce qui reste sera l'approvisionnement disponible. Ce reste sera nul, insuffisant ou suffisant, et dans chacun de ces cas les eaux pérennes, qui alimentent le canal, sont dites basses, moyennes ou abondantes.

Au canal du Centre, M. Comoy a trouvé qu'elles pouvaient être considérées comme

basses	pendant	120 jours
moyennes	—	85 »
abondantes	—	160 »

et il en a déduit que les réservoirs devaient pouvoir suffire à une consommation de :

76.000 mètres cubes	pendant 120 jours ou . . .	9.120.000 ^{m}
30.000 mètres cubes	— 85 — . . .	2.550.000 ^{mc}
	Total pour le canal entier. . . .	11.670.000 ^{mc}

D'où suit la capacité totale des réservoirs qui, sur cette voie navigable, avaient été accumulés au bief de partage et desservaient les deux versants sur une grande longueur.

Au canal du Nivernais, où les eaux pérennes disponibles sont nulles, en ce sens que les cours d'eau ne suffisaient pas, pendant certaines années, à remplir les réservoirs, M. Charié-Marsaines, en face de besoins annuels de 16.000.000 de mètres cubes, n'a trouvé que 11.000.000 de ressources, ce qui l'a déterminé à proposer l'exécution, réalisée dès 1848, de la rigole d'Yonne pour compléter l'approvisionnement du bief de partage. Tels sont même les mécomptes en pareille matière que, malgré les prévisions les plus larges, on est obligé au-

jourd'hui d'en construire une nouvelle, la rigole d'Aron, pour assurer le remplissage des réservoirs de Vaux et Baye au moins une fois par an.

Au canal du Berry, les eaux pérennes ne suffisent en général que du 10 novembre au mois de mai, et il reste six mois pendant lesquels il faudrait, à raison de 67.000 mètres cubes par jour, une réserve effective d'environ 12 millions de mètres que l'on ne possède pas et qui reste à compléter.

En un mot, dans chaque région, l'étude du régime des cours d'eau, pendant l'été, fait connaître la capacité totale des réservoirs à créer au point de vue de la navigation.

Il serait inutile, toutefois, de construire de vastes réservoirs, si l'on n'était pas sûr de pouvoir les remplir une fois par an au moins. Il serait, par exemple, peu opportun au canal du Nivernais d'accroître la capacité des étangs de Baye et de Vaux, puisqu'elle est déjà plus que suffisante pour l'eau qui y afflue ou qu'on y amène; c'est l'étude du régime des cours d'eau pendant l'hiver, le printemps et l'automne qui peut seule permettre d'apprécier, avec une certaine probabilité, le volume que l'on peut espérer recueillir annuellement, et c'est en raison de la capacité à attribuer à chaque réservoir que les jaugeages d'hiver prennent une importance analogue à celle des jaugeages d'été.

A défaut de cette étude approfondie, on a, pour un avant-projet, certaines données de l'expérience qu'il est bon de connaître.

M. Mary estimait qu'en moyenne on pouvait espérer, à la hauteur où sont ordinairement les biefs de partage, recueillir les 3/7 de l'eau tombée sur le bassin dont le réservoir est le point bas.

Dans le canal du Midi, où le bief de partage traverse un sol granitique, la réserve accumulée pourrait être, paraît-il, les 2/3 de la pluie tombée.

Au canal de Bourgogne, on a jaugé la Brenne trois fois par jour pendant 1.120 jours et on a recueilli les eaux de pluie pendant le même temps. Le rapport a été de 0,50 en 1835, 0,70 en 1836, 0,53 en 1837.

M. Charié-Marsaines, au bief de partage du canal du Ni-

vernais, a adopté la proportion des 3/7, et l'a vérifiée d'une manière approximative par des jeaugeages antérieurs des affluents des réservoirs.

M. l'inspecteur général Graeff a montré qu'à l'étang de Gondrexange, le volume d'eau, reçu par le réservoir, était égal aux 493 millièmes, ou, en nombre rond, à la moitié de l'eau tombée. Cette proportion a servi de base aux calculs d'établissement du réservoir du Paroy (*Annales* de février 1880, notice de M. Picard).

Notons, toutefois, que les chiffres que nous venons de donner s'appliquent à des terrains étanches, relativement au moins, et qu'ils ne sont pas susceptibles de généralisation. Il ne faut donc les considérer que comme une simple indication, un point de départ, à l'aide duquel on peut se faire une idée de la hauteur qu'il est possible de donner, au point de vue des ressources à portée, aux barrages des réservoirs. On pourra, grâce à eux, écarter un certain nombre d'emplacements ; une étude définitive fera ensuite apprécier la valeur des projets qui resteront en présence et parmi lesquels un choix pourra être fait.

Il faut toutefois bien se garder des mécomptes dans les calculs qu'entraînent ces recherches.

D'abord, il est certain que les rigoles n'amèneront pas aux biefs toute l'eau des réservoirs, en sorte que ceux-ci doivent avoir une capacité suffisante pour que le volume émis soit égal au volume réellement transmis, augmenté des pertes.

En second lieu, les réservoirs eux-mêmes ne sont pas parfaitement étanches, dans leur première période principalement; les couches qui formaient les versants de leur vallée, lorsqu'elles se trouvent noyées, s'imbibent et peuvent même conduire au lit du ruisseau, quand elles sont perméables, les eaux qui les ont pénétrées. Lorsque leur perméabilité est faible, les troubles en suspension dans le réservoir, arrivent à les étancher, mais lorsqu'elle est prononcée, comme dans certains calcaires fendillés, il peut se faire que, sous une pression donnée, elles débitent tout ce qu'amènent les ruisseaux et que la retenue ne puisse atteindre la hauteur prévue. Dans le premier cas, les avantages du réservoir ne seraient que différés ; dans le second, ils seraient annihilés, et cette

éventualité doit être évitée par une étude approfondie des couches géologiques qui constituent les versants, car tout réservoir qu'on voudrait créer sur un terrain perméable serait inadmissible.

Enfin, il faut songer aux envasements, dont la marche est parfois si rapide qu'un certain nombre d'étangs, qui servaient primitivement à l'alimentation du canal du Centre, ont aujourd'hui presque complètement disparu et, en tous cas, ne sont plus utilisés.

L'ingénieur devra tenir scrupuleusement compte de toutes ces mauvaises chances dont il est indispensable de dégager l'avenir en en posant la valeur.

680. Alimentation artificielle à l'aide de machines. — Si la solution des réservoirs échappe, on est forcé de recourir à l'emploi de machines à vapeur ou de moteurs hydrauliques qui remontent l'eau perdue ou la puisent à des sources inférieures. Ce procédé d'alimentation a été employé au canal de la Sambre à l'Oise, où les eaux de l'Helpe sont jetées dans le bief de partage par des machines à vapeur ; il l'est encore au canal de l'Aisne à la Marne, où les eaux de cette dernière rivière sont élevées artificiellement à l'aide d'une dérivation du cours d'eau lui-même. De puissantes usines hydrauliques s'établissent à Villey-le-Sec, à Pierre-la-Treiche, à Valcourt et à Messein pour élever les eaux de la Moselle destinées à l'alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est. Une machine à vapeur auxiliaire reprend à Vacon une partie de ces mêmes eaux pour les jeter dans le bief de partage de Mauvages; en un mot, le besoin d'eau et le progrès des machines se développant ensemble, il paraît de plus en plus naturel d'appliquer directement la mécanique à l'alimentation des canaux.

L'étude des procédés à suivre n'entre pas dans notre cadre, et nous ne nous arrêterons pas à ce qui regarde les machines élévatoires. Nous ne pouvons nous dispenser, toutefois, d'appeler l'attention sur ce fait important, que nous avons signalé plusieurs fois déjà, à savoir l'appauvrissement croissant et rapide du volume des cours d'eau à l'étiage. Il en résulte

une diminution correspondante dans la force des moteurs hydrauliques, au moment où les besoins sont les plus grands.; et, si les calculs primitifs n'ont pas été très larges, de graves mécomptes sont à redouter. De nombreux projets de canaux s'élaborent en ce moment, pour arriver à compléter le réseau français ; il est question de mouillages de plus en plus forts, de sections de plus en plus larges ; et, pour faire face à ces besoins inconnus, il sera certainement prudent de ne pas faire reposer exclusivement le maintien de la navigation sur le jeu d'usines qu'une fuite d'eau ou une avarie dans les organes peut suspendre à un moment donné. Assurément nous sommes loin de critiquer ce mode d'alimentation qui a rendu de nombreux services et en rendra bien plus encore, mais nous devons insister sur son caractère parfois précaire, sur l'utilité qu'il y a à ne pas l'employer seul, et rappeler en même temps qu'une des meilleurs conditions d'exploitation s'obtient lorsque l'on peut rendre, comme nous l'avons dit plus haut, « la navigation indépendante de l'alimentation. »

681. Prépondérance de l'approvisionnement du bief de partage. — Ce que nous avons dit du bief de partage, s'applique à chacun des groupes qui reçoivent une alimentation spéciale ; et, pour ces biefs, les conditions que nous avons indiquées doivent être remplies. Il est évident, toutefois, que c'est principalement au bief de partage que les réserves doivent être largement calculées. Les émissions d'eau se pratiquant forcément de l'amont à l'aval, on sera toujours porté, en cas de pénurie d'eau, à emprunter à la partie supérieure ; de plus, le bief de partage doit demander à ses ressources propres toute l'eau nécessaire aux éclusées sur les deux versants, et l'approvisionnement qui le domine doit être à la fois plus largement calculé et plus sûr que les autres.

682. Prix du mètre cube d'eau d'alimentation. — Le prix du mètre cube d'eau destiné à l'alimentation des canaux est peu connu. S'il s'agit de réservoirs et de rigoles, le prix de construction première est compliqué de retenues préexistantes ou mal séparé du reste du travail. Les frais d'entretien

n'ont pas été nettement déterminés ; la même incertitude règne en ce qui concerne les usines, d'abord parce que le temps depuis lequel elles fonctionnent n'a pas permis de reconnaître la marche de leur usure ; ensuite, parce que leur fonctionnement étant intermittent, le prix du mètre cube en eau montée se compose d'une somme à peu près fixe par mètre cube correspondant au travail utile, et d'une autre somme représentant les frais généraux et l'intérêt du capital. On ne peut donc donner que des évaluations peu certaines.

En tenant compte des intérêts du capital consacré à l'exécution des réservoirs du canal de Bourgogne, rigoles comprises, ainsi que des frais d'entretien de ces ouvrages, on a trouvé que le mètre cube d'eau se payait :

au réservoir de	Grosbois	0 fr. 025
—	Chazilly	0 017
—	Cercey.	0 007

Pour la rigole d'Yonne, qui a coûté un million quatre cent mille francs, et qui a été établie pour une fourniture de 4 millions de mètres cubes d'eau, en lui appliquant un chiffre d'entretien de quatorze mille francs et en l'additionnant à l'intérêt du capital consacré, on trouve une dépense annuelle de quatre-vingt-quatre mille francs, qui fait ressortir à 0 fr. 0210 le mètre cube d'eau transporté utilement.

Pour les machines élévatoires, M. Picard évalue à 0 fr. 0008 le prix du mètre cube monté à 1 mètre de hauteur si l'on emploie la vapeur. En se servant d'une chute d'eau, il faut retrancher la consommation du combustible qui est à peu près 1/9 du chiffre ci-dessus, et le prix de la machine motrice ; mais il faut ajouter l'intérêt du capital de construction et l'entretien des ouvrages destinés à l'adduction de l'eau ; en sorte qu'en somme il est probable que la différence est minime. Aujourd'hui même, que l'eau est rare, et le plus souvent utilisée par l'industrie privée, si l'on tient compte des contestations qui naissent pour l'Etat d'un usage commun de la pente des rivières, on sera porté à penser que l'emploi de la vapeur n'est à repousser qu'à bon escient. Elle a, en outre, cet immense avantage qu'elle peut se développer à volonté en temps utile, tandis

que les chutes d'eau s'amoindrissent au moment où elles seraient le plus nécessaires. La question veut donc être mûrement étudiée dans chaque cas particulier.

§ III

MOYENS DE DIMINUER LA CONSOMMATION D'EAU DES ÉCLUSES

683. Tendance habituelle des recherches. — Tout ce que nous avons exposé sur l'alimentation montre combien l'eau est précieuse, surtout pour les canaux à point de partage. Il n'est pas surprenant, dès lors, que de nombreux essais aient été faits pour en réduire la dépense, et que les efforts des inventeurs se soient portés sur la plus apparente des déperditions, sur celle qui se produit par les éclusées, quoiqu'elle soit souvent bien loin d'être la plus considérable.

684. Bassin d'épargne. — Le premier moyen et le plus simple est l'emmagasinage partiel de l'éclusée dans un bassin voisin du sas et communiquant avec lui par un aqueduc qu'on ferme à volonté. Supposons ce bassin arasé au niveau des eaux du bief d'aval, et d'une superficie égale à celle du sas; si, au moment d'écluser le bateau, on met le bassin et le sas en communication, le premier se remplira à moitié, tandis que le second se videra à moitié : fermons alors la communication entre eux, et vidons le reste du sas dans le bief d'aval, nous aurons perdu, pendant cette première opération, la moitié de l'éclusée seulement.

Lorsqu'il faudra remplir le sas à nouveau une fois les portes d'aval fermées, nous ouvrirons l'aqueduc de communication et le bassin d'épargne restituera au sas la moitié de son approvisionnement soit un quart de l'éclusée, qui aura ainsi été épargné au bief supérieur.

On conçoit d'ailleurs qu'en faisant varier la capacité du

bassin d'épargne, et surtout en en étageant un certain nombre les uns au-dessous des autres, on puisse n'user qu'une partie de l'éclusée au lieu de l'éclusée tout entière. Il faut s'attendre, toutefois, en pareil cas, à une perte de temps correspondant au bénéfice en eau, ce qui n'est pas moins regrettable quand la navigation est active.

685. Flotteur de M. de Béthancourt. — M. de Béthancourt, ancien élève externe de l'École des ponts et chaussées, avait imaginé un autre procédé dont nous dirons quelques mots. Au sas devait être juxtaposé un bassin comme dans le cas précédent, mais la communication qui les réunissait aurait été libre, et sur le bassin proprement dit reposerait un flotteur qui, plongé dans l'eau à son maximum, tiendrait le sas plein pour l'entrée d'un bateau descendant. Pour le vider, on ferait émerger le flotteur à l'aide d'un contrepoids, jusqu'à ce que le vide produit par cette émersion amenât le niveau à être le même que celui du bief d'aval; une nouvelle immersion relèverait le niveau; un second relèvement du flotteur l'abaisserait, et ainsi de suite, absolument comme agirait sur le niveau commun de deux vases communiquants un corps se mouvant dans l'un d'eux et y déplaçant un volume variable.

Ce que la conception de M. de Béthancourt avait de particulièrement remarquable, c'est qu'il fixait le flotteur à une des extrémités d'un levier coudé dont l'autre extrémité portait un contrepoids tel que le système fût toujours en équilibre. Quand le flotteur était émergé de tout son volume, le contrepoids était sans effet. Lorsqu'au contraire le flotteur émergeait, son déplacement vertical augmentait le bras de levier du contrepoids et l'équilibre n'était pas rompu. Un calcul très simple permet de reconnaître l'exactitude de cet équilibre permanent qui peut sembler paradoxal au premier abord.

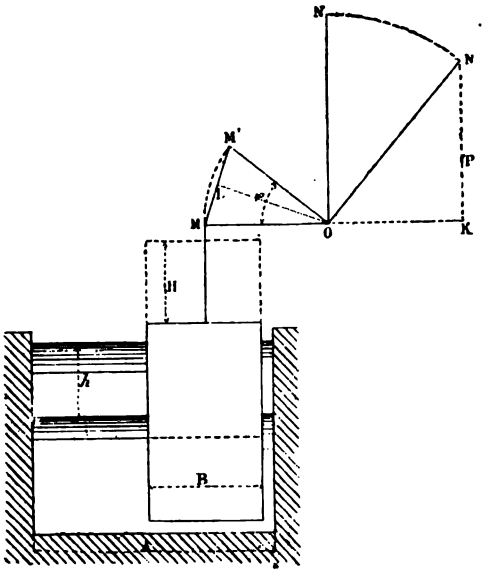
Appelons H la quantité dont le flotteur aura monté et h l'abaissement de niveau correspondant dans les vases communiquants. Soit A la section totale des vases communiquants, B celle du flotteur; les quatre quantités sont liées entre elles par la relation $BH = (A-B)\,h$, on en tire $h = \frac{BH}{A-B}$.

Mais après avoir monté d'une quantité II qui a abaissé le niveau de h, le flotteur a émergé d'une quantité $\text{II} + h$, c'est-à-dire $\text{II} + \frac{\text{BII}}{\text{A}-\text{B}}$ ou $\frac{\text{AII}}{\text{A}-\text{B}}$. Il pèsera par suite $1000^{k} \times \text{B} \times \frac{\text{AH}}{\text{A}-\text{B}}$.

Supposons-le en équilibre sous l'influence du contrepoids P, on aura alors l'équation :

$$1000^{k} \times \frac{\text{B} \times \text{A} \times \text{II}}{\text{A}-\text{B}} \times \text{OI} = \text{P} \times \text{OK} \quad (1)$$

En appelant $\text{OM} = \text{OM}'$, l; et $\text{ON} = \text{ON}'$, L; on pourra écrire $\text{OI} = l \cos\frac{\varphi}{2}$, $\text{OK} = \text{L} \sin\varphi$; l'équation devient alors



$1000^{k} \times \frac{\text{B} \times \text{A} \times \text{II}}{\text{A}-\text{B}} \times l. \cos\frac{\varphi}{2} = \text{P} \times \text{L} \sin\varphi$. Mais H est égal à MM' et $\text{MM}' = 2l \sin\frac{\varphi}{2}$. Remplaçant H par sa valeur, on a :

1. Il ne sera pas inutile de faire observer ici que l'on suppose en M un point fixe et une poulie sur laquelle roule une chaîne MM', fixée d'un bout au levier et de l'autre au flotteur.

$1000^k \times \frac{B \times A}{A - B} \times 2\,l' \sin\frac{\varphi}{2} \cos\frac{\varphi}{2} = P \times L \sin\varphi$. Or, comme $2 \sin\frac{\varphi}{2} \cos\frac{\varphi}{2} = \sin\varphi$, il reste en simplifiant :

$$1000^k \times \frac{B \times A}{A - B}\, l' = PL, \text{ d'où } P = 1000^k \times \frac{B \times A}{A - B} \times \frac{l'}{L}.$$

La disparition complète de φ montre d'abord que l'équilibre a lieu dans toutes les positions du quart de cercle où s'accomplit le mouvement que nous étudions.

En second lieu, la valeur de P se déduit des autres données que la pratique impose et c'est alors que naissent les difficultés. Ainsi l ne saurait être moindre que la demi-largeur du flotteur augmentée de l'espace suffisant à asseoir le point d'appui d'un levier très fortement chargé, soit au minimum $2^m,57$; h est la chute de l'écluse, supposons-la de 3 mètres; A-B est au minimum la section de l'écluse, soit 180^{mq}; donnons-nous d'ailleurs B égal à 150^{mq} et $L = 3\,l$ (la grande branche du levier peut difficilement avoir plus de $7^m,50$) ; on aura alors :

$A = 330^{mq}$ et la valeur de P sera

$$P = 1000^k \times \frac{330 \times 150}{180} \frac{2.50^e}{3 \times 2.50}$$

$$P = 1000^k \times \frac{330 \times 150 \times 2.50}{3 \times 180} = 229.166 \text{ kil.}$$

On arriverait ainsi à un contrepoids de 230 tonnes agissant au bout d'un bras de levier de $7^m,50$; en augmentant le bras de levier ou en modifiant l'action du contrepoids qui pourrait à la rigueur agir tantôt pour immerger le flotteur et tantôt pour le soulever, on conçoit qu'on puisse obtenir un chiffre moins effrayant, mais en tout état de cause le flotteur de M. de Béthancourt entrerait difficilement dans la pratique. Il n'était pas inutile de faire ce calcul pour montrer combien les conceptions les plus ingénieuses, les plus rationnelles, échouent à l'application. Un essai a été fait, paraît-il, en Russie et en Angleterre, mais on s'en est tenu là.

686. Système de M. de Caligny. — D'autres ingénieurs ont dirigé leurs recherches dans un sens différent : Ils ont cherché à utiliser la force motrice produite par la chute d'un sas qui se remplit ou se vide pour remonter une partie de l'eau inférieure dans le bief supérieur; la difficulté principale réside dans la variabilité de la force motrice décroissante pendant la durée de l'éclusée, et voici comment l'a résolue M. le marquis de Caligny.

Il a opéré le remplissage et la vidange du sas par un long aqueduc qui communique à volonté avec le bief supérieur et le bief inférieur. S'il s'agit de remplir le sas, on laisse se produire un certain écoulement du bief supérieur par l'aqueduc, puis l'on ferme brusquement la communication, et l'on ouvre en même temps celle du même aqueduc avec le bief inférieur. Le liquide, animé d'une vitesse acquise assez forte dans l'aqueduc, continue sa marche, et opère une succion du bief inférieur dans le sas, pendant la durée du mouvement dû à cette vitesse acquise. Lorsque la succion s'arrête, le liquide tend à revenir sur ses pas, mais on ferme la communication avec le bief inférieur et l'on ouvre celle du bief supérieur; une nouvelle émission d'eau se produit dont on profite encore, et ainsi de suite jusqu'à ce que la chute soit devenue assez faible pour que la force motrice soit absorbée par les frottements.

Un essai a été pratiqué à l'écluse de l'Aubois, sur le canal latéral à la Loire, et fonctionne depuis une dizaine d'années à l'aide d'un appareil qu'il serait trop long de décrire ici, mais qui présente des dispositions très ingénieuses. Il est difficile d'évaluer le rendement de cette sorte de bélier hydraulique ; nous ne pensons pas qu'il dépasse, dans les circonstances actuelles, 0,50 à 0,60 du travail accompli par l'abaissement d'une éclusée, mais l'inventeur le perfectionne chaque jour et compte arriver à un effet utile beaucoup plus avantageux.

Entre autres avantages de ce système se trouve la facilité donnée aux manœuvres par les oscillations du liquide. En effet, lorsqu'a fini de se produire le mouvement de surélévation du sas vers l'extrémité d'aval, par suite de l'impulsion donnée à toute la masse liquide, il y a un retour en sens contraire vers

l'extrémité d'amont; et, si les appareils sont construits pour en profiter, la manœuvre de communication avec le bief d'amont s'opère aisément à l'aide de cette force motrice auxiliaire toute momentanée, due à l'oscillation de la masse.

Par contre, ces mouvements d'eau interrompus et repris, dans des aqueducs assez grands, donnent lieu à des fluctuations qui ne sont pas sans inconvénients pour la navigation et pour les maçonneries. M. de Caligny s'efforce de les atténuer dans la limite de ce qui ne peut pas nuire au jeu de l'instrument, car il n'est pas possible de perdre de vue que c'est précisément la brusque interruption de l'écoulement qui en fait l'avantage. (Voir, pour les détails, les mémoires de l'auteur et le Cours de navigation intérieure de M. de Lagrené.)

Nous ne pensons pas, toutefois, que l'emploi de ces divers moyens, tout ingénieux qu'ils soient, puisse se généraliser. D'abord, ainsi que nous l'avons déjà dit, ils tendent à remédier à une des causes accessoires de dépense d'eau des canaux et ne peuvent avoir, sur leur alimentation générale, qu'une influence également accessoire. Ensuite, ils ne sont vraiment utiles qu'aux écluses finales, à celles qui perdent définitivement, pour la voie navigable, l'eau des éclusées. Pour toutes les autres, cette eau se confond avec celle que l'on est forcé d'envoyer par les ventelles du bief supérieur au bief inférieur, et il n'y a qu'un avantage minime à ce qu'elle soit remontée si elle doit redescendre pour les besoins généraux de l'alimentation. En conséquence, nous n'insisterons pas davantage sur les procédés économiques que nous venons de passer en revue.

§ IV

PLANS INCLINÉS ET ÉLÉVATEURS

687. Idée première de ces systèmes. Leurs avantages. — En entrant plus avant dans l'ordre d'idées que nous venons d'exposer, on arrive aux systèmes qui ont pour but de subs-

tituer au jeu des écluses et à la consommation d'eau qu'il entraîne, l'action d'un moteur mécanique transportant les bateaux de bief en bief, le long du versant parcouru. Du moment où l'on est conduit à élever mécaniquement l'eau destinée aux mouvements de la navigation, il est naturel de se demander s'il n'y aurait pas avantage à effectuer mécaniquement aussi le transport des bateaux et à s'affranchir des sassements; procédé commode, il est vrai, mais dont l'effet utile est très faible par rapport au travail total accompli, tant pour se procurer l'eau motrice que pour l'utiliser.

Indépendamment de cette considération, il y a encore celle du temps perdu au passage des écluses, et sur lequel il serait possible de gagner beaucoup en composant le tracé de très longs biefs, suivis chacun d'une forte chute que l'on rachèterait au moyen de moteurs mécaniques. On peut espérer ainsi, en accumulant sur un seul point les difficultés du transport vertical, les surmonter plus facilement, et franchir une chute décuple presque aussi rapidement que les chutes habituelles de nos canaux, grâce au moteur additionnel dont on dispose en ce cas.

C'est donc à ce double point de vue de l'économie de l'eau et de la diminution du temps consacré au passage des écluses qu'il convient d'étudier les plans inclinés et les élévateurs.

Nous renverrons pour leur description détaillée et leur historique à l'intéressante notice publiée par M. l'Ingénieur en chef Hirsch et à celle de M. Gruson (voir aux Annexes). Nous nous bornerons à donner une idée sommaire du principe de ces appareils, ainsi que de leur manœuvre; puis nous comparerons les résultats que l'on peut espérer en obtenir, avec ceux qui ont été réalisés par l'écluse à sas. Les descriptions que nous donnons sont empruntées à l'ouvrage de M. Hirsch.

Plans inclinés.

688. Plans inclinés du canal Morris. — Les plans inclinés sont de deux espèces, les uns transportent les bateaux à sec, sur des chariots; les autres guident sur leurs rails des

sas roulants dans lesquels les bateaux flottent et s'éclusent, tantôt dans le bief supérieur, tantôt dans le bief inférieur.

Le premier type est celui qu'on emploie en Amérique au canal Morris, et en Europe dans l'Oberland prussien, sur la rive droite de la basse Vistule ; le second type a été adopté à Blackhill sur le canal de Monkland (Écosse) et à Georgetown sur le Potomac (Amérique).

Le canal Morris fait communiquer la vallée de la Delaware avec celle de l'Hudson; le versant de la Delaware descend 232 mètres, celui de l'Hudson 279, et ces fortes chutes sont rachetées par 25 écluses ordinaires et 23 plans inclinés dont la hauteur varie entre 10 et 30 mètres.

Ces plans inclinés sont doubles, parallèles, et portent chacun une voie de fer sur laquelle circulent deux chariots, l'un montant, l'autre descendant. Les deux chariots sont reliés par un câble en fil de fer s'enroulant à une poulie horizontale fixée au sommet de l'appareil et se font ainsi équilibre.

Le mouvement est imprimé à la poulie par un moteur hydraulique destiné à compenser la différence de poids qui peut résulter de l'ascension d'un bateau chargé dans l'un des chariots, pendant la descente de l'autre chariot à vide.

Le passage dans le bief aval s'exécute de la manière la plus simple : Les voies de fer descendent en plan incliné assez profondément dans l'eau, pour que le chariot s'immerge totalement, et que le bateau qu'il porte se trouve naturellement à flot ou à sec, suivant que son support monte ou descend.

Pour le bief supérieur, la communication était plus difficile à réaliser. On avait commencé par établir au sommet de chaque plan incliné un véritable sas, dans lequel le chariot montant pénétrait à sec. Après son entrée, on fermait les portes d'aval et on remplissait le sas. Le bateau, mis à flot, passait alors dans le bief d'amont, et faisait place à un bateau descendant. Celui-ci s'échouait sur le chariot lorsqu'on vidait l'écluse, et la descente s'opérait par une marche en sens inverse. On a reconnu depuis que cette manœuvre hydraulique avait des inconvénients; les écluses ont été démolies et on a prolongé le plan incliné assez haut pour que la voie de fer s'élève un peu au-dessus du bief supérieur, sauf à y redescendre par une

contrepente. La force motrice a dû s'augmenter un peu, mais la perte d'eau est complètement évitée; et, comme il n'y a pas changement de système, la durée de la manœuvre a dû s'abréger. Ce passage à sec avec pente et contrepente porte le nom de *summit plane*, plan à sommet.

La pente des voies de fer varie de 1/10 à 1/12 sur les 23 plans inclinés. Elle se réduit de moitié dans la partie plongeante, afin que l'immersion des bateaux puisse se faire sans dommage. On conçoit, en effet, surtout au cas où le système fonctionnerait avec quelque vitesse, que le bateau qui plonge par une de ses extrémités dans le bief où il va flotter, pourrait se remplir, ou tout au moins subir des avaries, s'il conservait dans l'eau une inclinaison de 1/10. Le changement de pente est obtenu par un artifice aussi simple qu'ingénieux qui consiste à relever l'avant du chariot sur une voie à pente douce, tandis que l'arrière continue à descendre la pente plus rapide. Au point où s'effectue l'arrêt, le bateau est horizontal, et dans la meilleure situation pour flotter.

Notons que les bateaux du canal Morris ont 24 mètres de longueur, $3^{m},20$ de largeur, et ne portent que 70 tonnes. Le poids total qui repose sur chaque voie de fer, chariot compris, est de 110 tonnes.

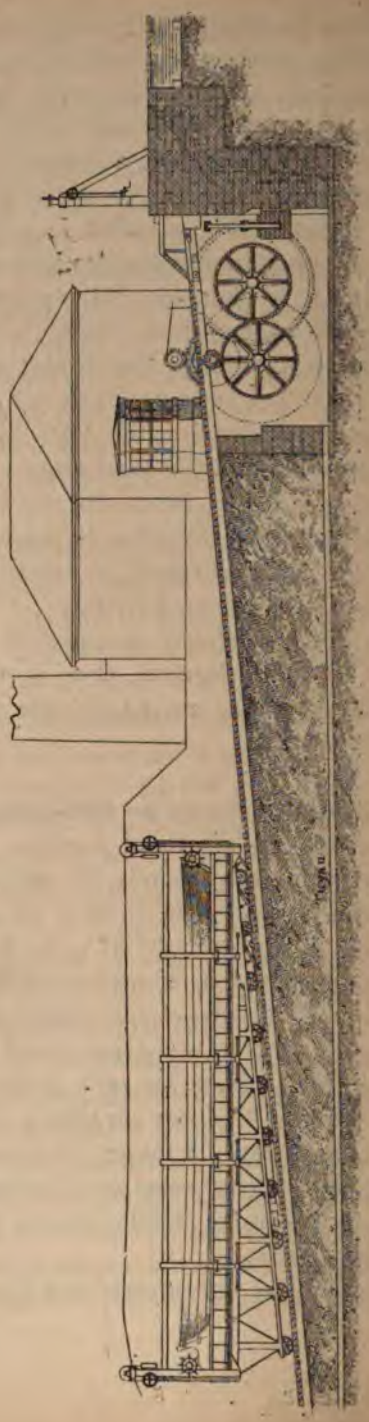
689. Plans inclinés de l'Oberland prussien. — Les plans inclinés de l'Oberland prussien ne diffèrent que très peu de ceux du canal Morris, ils ont une inclinaison de 1/12 et une hauteur qui varie de 20 à 25 mètres. La largeur de chaque voie de fer est de $3^{m},27$ et les rails, qui pèsent 35 kil. au mètre courant, sont appuyées sur des longrines en chêne, boulonnées sur des traverses espacées de $1^{m},10$. M. Hirsch fait connaître que la résistance étant insuffisante, on a dû recourir à l'acier pour les rails et chercher à remplacer les traverses par une fondation en béton.

Ici, le chariot pèse 25 tonnes, la coque 10 et le chargement 70, ce qui donne à la masse en mouvement sur chaque plan incliné le poids total de 105 tonnes, sensiblement le même qu'au canal Morris.

La force motrice est empruntée à l'eau du bief supérieur et

PLAN INCLINÉ DE BLACKHILL

Coupe longitudinale partielle.



transmise par une roue hydraulique à un câble en fil de fer du poids de 5 kilogrammes au mètre courant, qui passe sur un système de poulies de support placées aux deux extrémités du plan incliné.

La communication avec le bief d'aval se fait par immersion; avec le bief d'amont elle se réalise par un *summit plane*, dont le sommet s'élève à $0^m,31$ au-dessus de la cote maximum du plan d'eau du bief supérieur.

La vitesse de translation des chariots est de $0^m,80$ à 1 mètre par seconde.

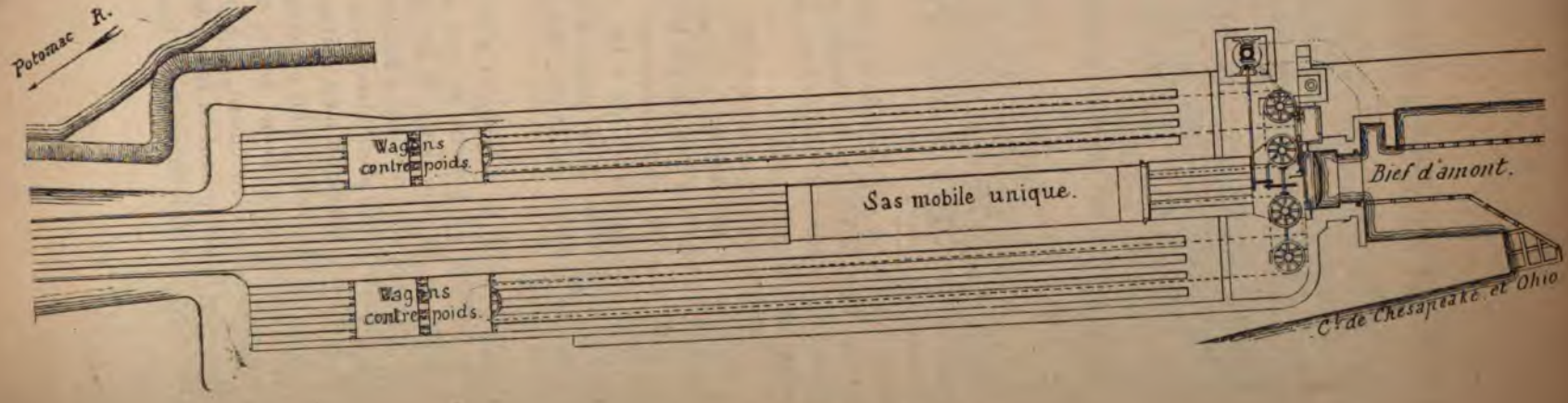
Les chariots sont en fer et supportés par deux trucs armés de quatre roues ; ces trucs, espacés de $9^m,10$, peuvent osciller autour d'un axe horizontal qui leur permet de suivre les variations de pente du plan. Un frein attaque à la fois les huit roues, quand besoin est.

Tout l'appareil fonctionne depuis 1860 et a semblé assez satisfaisant pour que l'on ait résolu de remplacer encore cinq écluses qui restent sur le canal de l'Oberland, par un plan incliné analogue à ceux qui existent déjà.

690. Plan incliné de Blackhill. — Le plan de Blackhill rachète une hauteur de 29 mètres franchie par le canal de Monkland (Écosse), qu'il dessert, concurremment avec quatre écluses doubles. Son inclinaison est de 1/10, et deux voies ferrées parallèles y supportent deux chariots reliés par un câble dont l'un monte pendant que l'autre descend, comme tout à l'heure.

Ici, toutefois, les bateaux ne s'appuient plus directement sur les chariots. Ceux-ci supportent un sas mobile dans lequel vient se loger le bateau, long de $21^m,34$, large de $4^m,36$, ayant $0^m,84$ de creux, et ne recevant d'habitude que $0^m,61$ d'eau. Pour expliquer cette faible profondeur, nous ferons connaître que le plan incliné de Blackhill n'est utilisé qu'au passage des bateaux vides, les bateaux pleins se servant toujours des écluses. Ce transport spécial permet même de diminuer encore le poids de la masse en mouvement, en ce sens qu'une fois le bateau entré dans le sas roulant on laisse écouler assez d'eau pour que sa sole porte légèrement sur le fond, ce qui a

PLAN INCLINÉ DE GEORGETOWN



Plan général à l'échelle de 1 à 635.

l'avantage de l'empêcher de ballotter pendant le transport, et de heurter les parois sous l'influence des oscillations du liquide.

Le chariot s'immerge dans le bief d'aval, et, au haut de sa course, est fortement appuyé par des presses hydrauliques contre une tête d'écluse garnie de portes à vanne, qui le fait communiquer avec le bief d'amont. Ces portes, et celles dont il est muni à chacune de ses extrémités, lui permettent de quitter le sas mobile ou d'y entrer, à volonté et sans déperdition appréciable d'eau.

Le poids total de l'appareil, chariot, bateau et eau contenue, est de 70 à 80 tonnes. Le mouvement est déterminé par une machine à vapeur, qui n'a guère à vaincre que les frottements, car l'équilibre est constant entre le sas ascendant, et

le sas descendant, occupés ou non occupés. Chaque bateau, en effet, refoule dans le bief qu'il quitte un volume d'eau précisément égal à son déplacement, c'est-à-dire à son poids.

Le plan incliné de Blackhill existe depuis 1850, et a pleinement répondu à l'attente de la compagnie qui l'a exécuté. Il passe, annuellement, 12.000 bateaux en moyenne.

691. Plan incliné de Georgetown. — Le plan incliné de Georgetown a pour but de réunir le canal de Chesapeake et Ohio à la rivière du Potomac, afin de suppléer à l'insuffisance des deux écluses qui, près de Washington, relient ces deux voies navigables.

La chute, variable avec la hauteur des eaux de la rivière, n'est que de $11^m,60$ en moyenne. Les bateaux qui fréquentent le canal se rapprochent des nôtres, car ils portent de 110 à 115 tonnes, avec une longueur de $27^m,10$, une largeur de $4^m,29$ et un tirant d'eau de $1^m,52$.

Le système n'est plus tout à fait celui dont nous avons parlé jusqu'ici. Le sas mobile, unique, roule sur une voie de fer inclinée à 1/12, en s'y appuyant sur quatre rails parallèles. Il est équilibré par deux wagons contrepoids qui roulent sur deux autres voies latérales, placées de chaque côté de la première, mais inclinées à 1/10. Le câble qui réunit le sas à chacun des contrepoids s'amarre par une extrémité au sas, et par l'autre à un point fixe. Dans sa partie intermédiaire, il se moufle sur le wagon, de façon à ce que la course des contrepoids ne soit que la moitié de celle du chariot.

Comme précédemment, des portes placées à l'amont et à l'aval du sas permettent l'introduction et la sortie des bateaux dans l'un et l'autre bief ; la jonction avec le bief d'aval se fait encore par immersion, et avec le bief d'amont par joint étanche.

Le moteur est une turbine à axe vertical, alimentée par l'eau du bief supérieur, et les câbles, en fil de fer, sont éprouvés à 78 tonnes. La manœuvre est, du reste, exactement la même que dans les autres systèmes, puisque le sas unique monte et descend, toujours équilibré par les contrepoids, comme montaient et descendaient les deux sas équilibrés l'un pour l'autre.

Ici, toutefois, les poids se développent dans une proportion considérable. Le sas plein d'eau pèse 390 tonnes ; et chaque wagon contrepoids 280 tonnes, ce qui assigne au système en mouvement engendrant les frottements, un total de 950 tonnes.

Il ne faut donc pas s'étonner si, après une année de fonctionnement dans ces conditions, on a cherché à réduire ces poids. Aujourd'hui, les bateaux chargés qui forment le trafic descendant sont transportés à sec, échoués sur le chariot, tandis que les bateaux vides qui forment presque tout le trafic ascendant ne montent qu'avec une hauteur d'eau de $0^m,76$, suffisante seulement à faire équilibre aux wagons centrepoids, dont le poids a pu être ainsi notablement réduit.

Le plan incliné de Georgetown [1] a été exécuté en 1875 et

1. Nous ne devons pas laisser ignorer que deux accidents ont eu lieu à Georgetown. Dans le premier, qui a eu lieu au moment où l'on expérimentait

1876; il fonctionne depuis la fin de 1876 et est le dernier de ceux dont il nous semble utile de rendre compte.

Élévateurs.

Passons actuellement aux élévateurs.

692. Transport vertical des bateaux. — Dans l'ordre d'idées où l'on se trouve placé par les essais de substitution d'un moteur mécanique à l'ancienne écluse à sas, on a été naturellement porté à se demander s'il ne serait pas avantageux d'aller jusqu'au bout dans cette voie, et d'adopter franchement le transport vertical des bateaux, d'un bief à l'autre, en s'affranchissant de ces longs plans inclinés dont l'assiette, nécessairement très développée, est une gêne dans les pays accidentés.

693. Élévateur du Great Western. — Un exemple existait depuis 1838 en Angleterre, sur le Great Western, pour racheter une chute de 14 mètres.

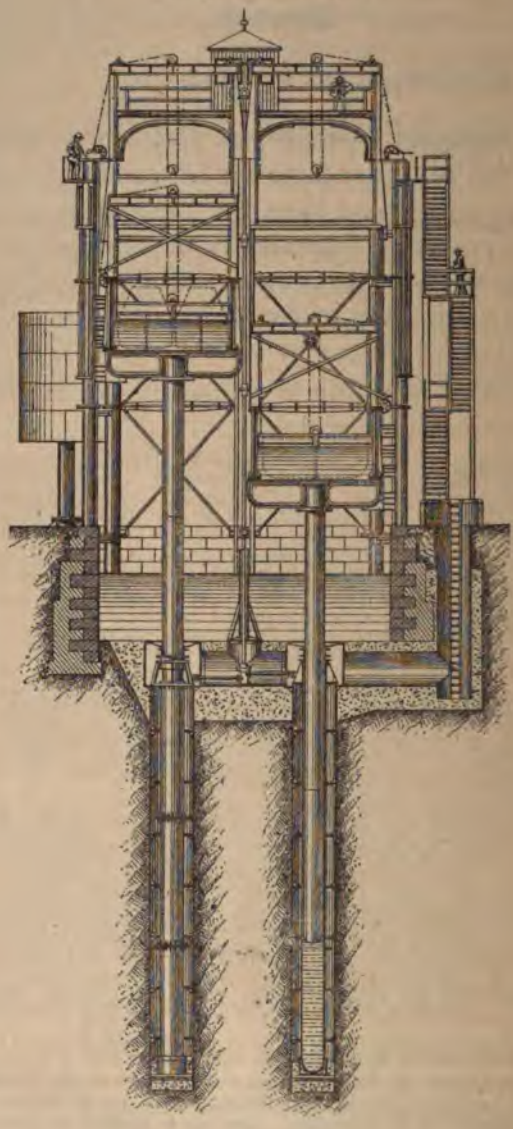
L'appareil se compose de deux sas mobiles en bois, suspendus à des chaînes et se faisant l'un à l'autre équilibre autour de trois grandes poulies à axe horizontal; ces sas sont munis, à leurs extrémités, de portes glissantes qui les raccordent successivement avec l'un et l'autre des biefs; chacun d'eux se meut verticalement dans un grand puits rectangulaire, l'un montant quand l'autre descend.

Le mouvement est déterminé par l'introduction d'un léger excès d'eau dans le sas descendant, suffisant seulement à vaincre les frottements (une tonne environ). Pour éviter que les chaînes de suspension ne troublent l'équilibre entre les deux plateaux de la balance, une chaîne pareille est attachée à la partie inférieure de chaque sas, en sorte que la force verti-

le système, le sas mobile, trop peu lesté, est remonté seul et a heurté l'écluse d'amont. Dans le second, un des câbles s'est rompu; le chariot du sas a déraillé et a été précipité dans le bief inférieur, sans que le bateau qu'il portait et les hommes qui le montaient aient eu à souffrir de dommages sérieux.

ÉLÉVATEUR D'ANDERTON

Coupe transversale.



cale qui agit dans chaque puits demeure constante, et suffit à la manœuvre.

La durée d'une opération n'est que de trois minutes.

Il convient d'observer, toutefois, que les bateaux qui parcourent le canal Great Western ne portent que 8 tonnes. Leur longueur est de $7^m,93$, leur largeur de $1^m,98$, et leur tirant d'eau en charge de $0^m,69$. Ce sont donc de simples barques, et cette circonstance explique la courte durée et la facilité des opérations.

694. Élévateur d'Anderton. — Une application du principe a été réalisée sur une échelle beaucoup plus grande pour le canal de Trent et Mersey, à Anderton. L'ouvrage a pour but de mettre en communication la rivière Wheaver, affluent de la Mersey, avec le canal. Celui-ci est amené par un pont aqueduc en fer au-dessus d'une des îles de la rivière, à un niveau supérieur de 15 mètres.

Voici la description donnée par M. Hirsch du système dont nous nous occupons, et de sa manœuvre en général.

« L'élévateur d'Anderton se compose de deux caissons ou sas pleins d'eau, dans lesquels flottent les bateaux ; l'un monte quand l'autre descend. Ces deux sas, ayant les mêmes dimensions, se font équilibre quand l'eau est tenue dans l'un et dans l'autre à la même hauteur. Mais ici ce n'est plus par l'intermédiaire de chaînes et de poulies que cet équilibre s'établit : la transmission des forces se fait par l'eau comprimée.

« Tel est le point caractéristique du système. Chaque sas repose sur la tête d'un énorme piston de presse hydraulique, dont le cylindre s'enfonce dans le sol qui forme le fond de la rivière; les deux cylindres sont égaux et reliés par un tuyau; le volume d'eau compris entre les deux pistons est dès lors invariable, et l'un des sas ne peut descendre sans que l'autre remonte d'une quantité précisément égale. Pour déterminer le mouvement de cette balance hydraulique dans un sens ou dans l'autre, il suffit d'ajouter dans l'un des sas un lest d'eau supplémentaire, qui surmonte les résistances dues aux frottements et à l'inertie.

« Chaque sas, arrivé au haut de sa course, se raccorde à

joint étanche, par son extrémité, avec la tête du bief supérieur. Le même système ne pouvait, à Anderton, être appliqué pour la communication avec le bief aval, qui est ici une rivière et non pas un canal. Ainsi, dans le bas, le sas s'immerge dans l'eau de la rivière, et la porte n'est ouverte que lorsque les plans d'eau se sont mis de niveau à l'intérieur et à l'extérieur du caisson. Mais, au moment de cette immersion, le sas descendant perd une partie de son poids. Il cesse donc de faire équilibre au sas montant; la machine s'arrêterait et n'irait pas à fond de course sans les dispositions spéciales dont nous allons indiquer le principe.

« La communication entre les deux cylindres est établie, non par un simple tuyau à robinet, mais par une distribution permettant de mettre chaque cylindre en relation, soit avec le cylindre voisin, soit avec un échappement sans pression, soit enfin avec une conduite d'eau comprimée. Le jeu de ce système est facile à comprendre. Lorsque le mouvement de l'appareil s'arrête, par suite de l'immersion partielle du sas descendant, on ferme la communication entre les deux cylindres ; puis, en manœuvrant convenablement la distribution, on met le cylindre du sas descendant en relation avec l'échappement, et son propre poids lui fait achever son excursion; de son côté, le cylindre du sas montant est mis en relation avec l'eau comprimée qui achève de l'élever jusqu'au niveau du bief supérieur.

« Quant au lest d'eau supplémentaire du sas descendant, on l'obtient par un artifice analogue à celui employé au Great Western Canal.

« La hauteur de l'eau dans le sas montant est réglée par des déversoirs d'une forme particulière, de telle sorte qu'elle soit toujours plus petite que dans l'autre sas. »

Ajoutons que les quatre angles de chaque sas sont munis de patins en fonte d'une grande hauteur, glissant dans des guides fixés à des colonnes verticales parfaitement stables et solidement contreventées pour résister à toute poussée oblique. Le mouvement est donc invariablement dirigé, ce qui était absolument indispensable avec l'impulsion énergique appliquée en un seul point du système.

Les bateaux qui fréquentent le canal de Trent et Mersey sont de deux espèces distinctes. Ils naviguent soit seuls avec un chargement de 80 à 100 tonnes, soit par couple portant ensemble 60 tonnes. Chaque sas de l'élévateur a 22^{m},85 de longueur, 4^{m},73 de largeur, et une hauteur d'eau minima de 1^{m},37 ; avec ces dimensions, il loge soit un grand bateau, soit un couplage et pèse alors 240 tonnes. Pendant la manœuvre, le sas descendant est chargé d'environ 15 tonnes de plus que l'autre pour vaincre les frottements.

La force motrice nécessaire dans les moments où l'équilibre se trouve rompu par l'immersion d'un des sas, ou par toute autre cause, est obtenue par un accumulateur de force que charge une machine à vapeur actionnant des pompes foulantes.

Une foule d'engins des mieux conçus, et dans le détail desquels nous n'avons pas à entrer, rendent facile la manœuvre des portes, la visite et l'entretien des presses hydrauliques, l'étanchement des joints, l'approche même des bateaux ; et, en somme, depuis 1875, cet appareil fonctionne à la satisfaction de tous [1]. Il a coûté environ 1.200.000 francs, et la dépense annuelle, intérêts et amortissement compris, peut être évaluée à 117.000 francs.

Nous n'insisterons pas davantage sur la description de ces ingénieux appareils qui ressortissent plutôt, en ce qui concerne les détails, à un ouvrage sur les machines qu'à un traité de Navigation intérieure. Toutefois, le principe sur lequel leur construction s'appuie nous appartient, ainsi que les résultats obtenus, et nous resterons complètement dans notre rôle en appréciant leurs inconvénients, par comparaison avec les procédés usités jusqu'ici.

1. Depuis le moment où ceci a été rédigé, en 1882, une grave avarie a eu lieu à l'élévateur d'Anderton ; un des cylindres des presses hydrauliques s'est brisé dans sa partie supérieure, sans que la cause de l'accident ait été nettement déterminée. On a été porté à penser que le guidage de sas était insuffisant, et que la tige du piston, cessant d'être parfaitement verticale, a exercé sur le cylindre de la presse un effort que la grandeur du bras du levier rendait irrésistible.

Avantages et inconvénients des divers modes de transports mécaniques.

695. Situation particulière des exemples cités — Lorsque les deux biefs à raccorder sont séparés par une grande hauteur verticale et par une faible longueur horizontale, les appareils mécaniques ont une raison d'être qui ne nous paraît pas contestable. C'est le cas de la plupart des exemples que nous avons passés en revue.

Dans l'Oberland prussien, après un tracé presque horizontal de 90 kilomètres, on trouve une chute d'environ 100 mètres répartie sur 20 kilomètres seulement.

Au canal Morris, la chaîne séparative de la Delaware et de l'Hudson présente, aux environs de son point culminant, une chute de 80 mètres environ pour 6 kilomètres, sur le versant de la Delaware ; et de 50 mètres pour 3 kilomètres, sur le versant de l'Hudson.

Au canal de Monkland, deux biefs horizontaux étaient séparés par une chute de 29 mètres; en outre, l'alimentation du bief supérieur était très difficile.

A Georgetown, au Great Western et à Anderton, enfin, les deux voies navigables se touchent ou à peu près en plan, et il faut, pour ainsi dire, que les bateaux tombent de l'une dans l'autre.

Ces données commandaient toutes une solution d'ensemble, qui nous paraît avoir été heureusement trouvée, par l'adoption de plans inclinés ou d'élévateurs. Ces engins, s'attaquant de front à la difficulté, la surmontent par un effort unique, à l'aide d'un moteur additionnel qui épargne à la fois le temps et l'eau.

S'ensuit-il que les élévateurs mécaniques, avec ou sans plans inclinés, soient appelés à remplacer l'écluse à sas ? Doit-on pousser à l'allongement des biefs pour arriver à de grandes chutes que l'on franchira par des moyens mécaniques? C'est là une affirmation que nous ne voudrions pas émettre, parce qu'elle nous semble très contestable. La construction et l'exploitation des canaux renferment trop de sujétions pour qu'il

soit posé des règles générales, surtout quand on est en face d'habitudes plusieurs fois séculaires, et qui très probablement ont, par cela même, de puissantes raisons d'être.

Examinons donc comparativement la situation que doivent créer aux canaux et à la navigation les appareils mécaniques d'élévation, et les écluses à sas, en supposant qu'on puisse établir à volonté ou de longs biefs avec de fortes chutes, ou des biefs courts avec des chutes ordinaires.

696. Avantages des longs biefs. — Les longs biefs ont de très grands avantages, qui ne sauraient être contestés. Ils affranchissent la navigation des arrêts fréquents, qui sont une gêne au point de vue de la rapidité des communications ; ils permettent, par suite, un emploi plus profitable de la vapeur, à la traction. S'ils sont accompagnés d'élévateurs mécaniques, qui substituent à dix écluses une chute décuple de celle de chaque écluse, chute que l'on peut franchir pendant un temps à peu près égal à celui que prend une éclusée, il est évident qu'on aura notablement abrégé la durée du voyage de chaque bateau. Ajoutons qu'avec les procédés imaginés à cet effet on réduira, dans une très forte proportion, la consommation d'eau par les éclusées, ce qui est un gain des plus appréciables pendant la saison sèche.

697. Sujétions qu'imposent les longs biefs. — En regard, on a le droit de dire que les longs biefs, s'ils sont imposés, peuvent être une source d'embarras. Suivre, à flanc de coteau, une ligne horizontale qui s'élève, par cela même, de plus en plus au-dessus de la vallée, c'est jeter le tracé sur une pente de plus en plus accentuée, c'est l'éloigner des parties les plus riches et les mieux cultivées du territoire, c'est desservir moins bien le trafic intermédiaire entre le point de départ et le point d'arrivée. Et si, au pied des coteaux, dans les terres végétales descendues des versants, où la cuvette se place dans les conditions les plus favorables, on perd par évaporation et par imbibition 1000, 2000 mètres cubes par kilomètre et par vingt-quatre heures, que n'arrivera-t-il pas à une altitude supérieure, dans un sous-sol généralement moins étanche, où les af-

fluents sont moins forts, les vallées secondaires plus difficiles à franchir? C'est certainement un avantage aussi que de pouvoir obéir aux exigences du terrain, et choisir à son gré l'assiette de la cuvette; de ce seul fait il peut résulter, dans les déperditions du canal, une économie d'eau aussi considérable que les pertes causées par les éclusées, pertes que nous avons montré être relativement très faibles dans les canaux peu fréquentés. Il serait donc imprudent de dire que les longs biefs et les grandes chutes, fussent-elles rachetées par un moteur, sont nécessairement une économie d'eau. Le fait peut être exact dans certains cas; il ne l'est pas toujours, en tenant compte des nombreuses causes de pertes qui interviennent dans l'alimentation des canaux.

698. Temps à gagner sur le trajet. — Il n'est pas douteux que la durée du trajet d'un bateau sur une ligne navigable ne doive gagner beaucoup, quand on diminuera le nombre de degrés qu'il faut franchir pour descendre ou remonter une vallée. On peut se demander toutefois si c'est bien là la voie dans laquelle doit marcher partout la navigation intérieure. L'industrie des transports par eau a tout avantage à s'accélérer, mais à la condition expresse de demeurer très économique. La vitesse toujours bien supérieure des chemins de fer, leur régularité, l'absence de chômages, font que les canaux ne peuvent lutter avec eux qu'à la condition d'offrir des conditions pécuniaires notablement inférieures. Or, l'écart est actuellement déjà faible et il est permis de se demander si, à un accroissement de vitesse, ne correspondrait pas un accroissement de prix. Le halage le plus économique est celui qui se pratique à l'aide de moteurs animés, hommes ou bêtes de somme ; or, la continuité de l'effort de traction est une fatigue extrême dont repose le passage des écluses. Il faut compter avec les habitudes acquises sous ce rapport; et il ne serait pas surprenant qu'une des conséquences de l'allongement des biefs fût une modification du mode de traction, entraînant augmentation de prix en même temps que de vitesse. Qui affirmerait alors que ce sera un progrès?

699. Modification dans la capacité de circulation d'un canal. — Nous irons même un peu plus loin dans l'ordre d'idées où nous sommes, et nous examinerons l'influence des systèmes nouveaux sur la capacité de circulation que peut offrir un canal, lorsque les chutes sont accumulées sur un seul point ou réparties sur sa longueur.

Nous avons admis, tout à l'heure, que les engins élévatoires pouvaient faire franchir à un bateau une chute décuple des chutes ordinaires, dans le temps d'une simple éclusée; nous ne pouvons nous dispenser de revenir sur cette égalité qui ne peut être qu'exagérée. En effet, nous savons tous que le temps d'une éclusée se compose de deux parties bien distinctes : il y a, d'une part, les manœuvres proprement dites qui sont l'approche du bateau, son entrée, puis sa sortie et son éloignement à distance suffisante pour qu'un autre bateau puisse s'ébranler et arriver à l'entrée de la passe rétrécie; d'autre part, se trouvent la manœuvre des portes, puis la vidange et le remplissage du sas.

La manœuvre des portes, la vidange et le remplissage du sas peuvent s'exécuter, dans les écluses à sas, avec un choix judicieux d'engins et une bonne ventellerie, en six minutes, trois minutes par manœuvre hydraulique.

L'approche des bateaux, leur éloignement, leur amarrage, etc., prennent le reste du temps, c'est-à-dire de cinq minutes à un quart d'heure, vingt minutes même, suivant le genre des bateaux, l'adresse des mariniers et l'empressement qu'il leur convient d'y mettre. L'expérience prouve que sur nos canaux il faut compter, en pratique et non d'après une expérience une fois faite, sur une vingtaine de minutes au moins pour une éclusée complète, c'est-à-dire pour un retour aux conditions initiales.

Si, maintenant, nous envisageons ce qui se passe dans les élévateurs mécaniques, nous trouvons des difficultés d'approche, de départ et d'amarrage au moins aussi grandes dans ce cas que dans l'autre. Il y a passe rétrécie d'un côté comme de l'autre avec des mouvements identiques. Quant aux soins d'amarrage, ils doivent être aussi minutieux, sinon davantage, pour transport sur sas mobile et métallique que pour station-

nement dans un sas immobile et maçonné. Enfin, si pour faciliter les mouvements des bateaux, il est possible d'agrandir la section de l'écluse par un approfondissement de son radier qui diminue les effets nuisibles du rétrécissement, cette amélioration est refusée aux sas mobiles dont on ne saurait accroître le poids, déjà si considérable. Les mouvements y sont donc forcément encore plus difficiles.

Quant à la manœuvre des portes, il nous semble évident qu'il est plus aisé et plus prompt de manœuvrer des portes ordinaires que de faire une manœuvre identique d'abord, pour y ajouter ensuite l'étanchement du joint, toujours un peu scabreux, qui sépare le sas mobile du bief auquel il vient s'attacher.

Dans cet ensemble d'opérations, qui embrasse la presque totalité du temps, le nombre de minutes employé par l'élévateur ne peut donc être que supérieur à celui qu'exige l'écluse à sas.

Reste, il est vrai, la durée de la vidange et du remplissage du sas à comparer à celle de la manœuvre hydraulique correspondante pour les élévateurs, augmentée du trajet vertical ou sur plan incliné. Ici encore, il nous semble bien difficile d'arriver plus vite ; dans tous les cas, si l'on gagne quelque chose ce ne peut être qu'un bénéfice insignifiant, puisque l'écluse à sas ne prend que trois minutes par manœuvre hydraulique. En somme, si nous ne nous sommes pas trompés dans notre analyse, il faut certainement plus de temps pour exécuter une manœuvre d'élévateur que pour accomplir une éclusée.

Il suit de là, très nettement, que la capacité de circulation d'un canal ne serait pas augmentée par la substitution d'élévateurs aux écluses. Chaque chute est un passage obligatoire, un rétrécissement qui ne peut débiter que suivant ses forces, et qui limite par suite le trafic journalier à un total qui peut s'apprécier à l'avance. Ce total est moindre pour l'élévateur que pour l'écluse, et, par suite, dans les moments de presse, où les bateaux se succèdent dans le même sens, il peut y avoir avantage à se servir d'écluses où dix bateaux peuvent s'écluser à la fois sur dix petites chutes, plutôt qu'à les laisser s'accu-

muler devant une grande. Si l'on veut nous permettre une comparaison, nous dirons qu'une route très large, coupée par un rétrécissement où quatre hommes seulement peuvent passer de front, serait vraisemblablement moins favorable à l'écoulement d'une troupe nombreuse, qu'une route moins large où six hommes pourraient passer de front partout. Le bénéfice de temps, que peut procurer l'engin d'élévation à chaque bateau, ne se reporte donc pas sur la masse; et là où les écluses doivent être doublées, il faudrait plus que doubler, peut-être tripler, les élévateurs.

Nous n'avons nullement l'intention, dans ce qui précède, de mettre en doute les chiffres qui ont été fournis par divers documents, et desquels il semble ressortir que notre appréciation ne serait pas exacte. Nous estimons que si, d'après ces chiffres, une manœuvre d'élévateur est plus rapide qu'une éclusée, c'est qu'on compare des choses peu comparables. Les bateaux élevés mécaniquement à l'étranger sont petits et maniables, tandis que les bateaux que nous éclusons, sur nos voies fréquentées, sont infiniment plus puissants. De là un avantage de temps très appréciable sur les manœuvres d'entrée et de sortie, dont l'opération mécanique paraît bénéficier. Ajoutons, en passant, que cette comparaison porterait à penser que l'accroissement général des tonnages auquel on pousse actuellement en France, s'il est bien motivé sur les rivières et sur les voies à très longs biefs, pourrait bien avoir des effets moins heureux sur les voies ou portions de voies où les manœuvres doivent prendre une certaine importance, en raison du nombre des obstacles à franchir. Nous reviendrons sur cette question spéciale quand nous nous occuperons de l'exploitation des canaux.

700. La comparaison est prématurée. — Nous ne pouvons pas terminer ce parallèle sans faire remarquer, d'ailleurs, que, dans l'état actuel de notre matériel flottant, l'assimilation des deux systèmes est un peu prématurée. L'écluse à sas est un instrument éprouvé, qui peut être un peu lent, mais qui est sûr, rustique et économique. Il use peu d'eau quand il y a peu de bateaux, ne présente aucune exigence en

fait de personnel, et se prête ainsi à toutes les variations du trafic. C'est un fait acquis par deux siècles d'expérience.

En est-il de même des élévateurs et des plans inclinés. Nous ne le pensons pas. Si nous prenons les deux exemples qui se rapprochent le plus de ce qui peut s'approprier à nos besoins, c'est-à-dire le plan incliné de Georgetown et l'élévateur d'Anderton, voici ce que nous rencontrons.

A Georgetown, pour un bateau d'un tonnage de 110 à 115 tonnes, il a fallu mettre en mouvement un sas mobile de 390 tonnes et deux contrepoids de 280 tonnes chacun, soit un ensemble se faisant équilibre, mais pesant 950 tonnes, et engendrant par suite les pressions, tensions et frottements qui correspondent à cette énorme masse en mouvement. Il faut bien que ce système ait présenté des inconvénients puisqu'on s'est décidé, après un an d'essai, à transporter, échoués ou à sec, les bateaux chargés et que l'on continue ainsi. Il est permis dès lors de se demander ce que deviendraient ces inconvénients avec un bateau de 250 à 300 tonnes, qui ferait plus que doubler la masse expérimentée en Amérique.

A Anderton, le rapport de la masse totale à la charge utile est moindre, puisque, pour un chargement de 60 à 90 tonneaux, chaque sas ne pèse que 240 tonnes. Il n'en est pas moins vrai que, lorsqu'on manœuvre l'appareil, le poids total en mouvement, comprenant les deux sas, représente 480 tonnes. Appliquant la même proportion, entre le poids utile et le poids total, à un ascenseur destiné à des bateaux de 250 à 300 tonneaux, on arrive à une masse de 15 à 1.800 tonnes. On comprend que la chose peut être possible, mais on n'est pas encore en mesure de l'affirmer ; et, pour que la comparaison avec l'écluse à sas soit sérieuse, il faut que l'expérience ait prononcé sur la valeur pratique du système appliqué à notre matériel.

701. Résumé. — En résumé, les appareils mécaniques dont nous venons de nous occuper nous semblent être appelés à rendre les services les plus réels, là où une chute brusque est commandée par la disposition des lieux, ou par une communication directe à établir entre deux lignes navigables voisines.

Ils peuvent être utiles encore dans les régions accidentées où les écluses devraient être multipliées. Nous ne devons pas perdre de vue, toutefois, que ces régions accidentées ne sont pas le champ économique ouvert à la navigation. Il paraît difficile que les canaux y luttent avec les chemins de fer; si la partie du tracé sur laquelle les plans inclinés deviennent nécessaires est un peu étendue, il est à craindre que ces engins, quelque ingénieux qu'ils soient, ne suffisent pas à assurer à la voie d'eau un trafic rémunérateur.

La valeur pratique de ces appareils n'est pas connue, en ce qui concerne les bateaux de 2 à 300 tonnes, et il est à souhaiter qu'une expérience lève les doutes que les essais faits jusqu'ici laissent subsister [1].

L'accroissement du tonnage des bateaux et l'unification des voies navigables, pour arriver à admettre partout le type du Nord, sera certainement un obstacle à l'emploi d'appareils élévateurs.

Et, dans cet ordre d'idées, il semble rationnel de penser que les plans inclinés, en diminuant notablement l'action directe de la pesanteur, sont peut-être à même de répondre mieux aux nécessités de notre matériel flottant que les élévateurs verticaux.

Enfin, si les engins mécaniques sont une ressource précieuse à utiliser dans les cas particuliers que nous avons cités, il n'est pas établi qu'en thèse générale ils puissent rendre les services que rend l'écluse à sas, quand on envisage à la fois les conditions éminemment complexes de construction et d'exploitation des canaux.

1. Cette expérience se fait actuellement; les cinq écluses échelonnées des Fontinettes, sur le canal de Neufossé, vont être doublées par un élévateur qui se construit, et pourra être prochainement livré à la circulation. Voir aux Annexes.

CHAPITRE XXV

CONSTRUCTION DES CANAUX

A POINT DE PARTAGE

SOMMAIRE :

§ 1er *Tracé aux environs du bief de partage.* — 702. Étude de la partie haute. — 703. Col à choisir. — 704. Étude sommaire sur la carte. — 705. Tranchée ou souterrain. — 706. Indication première d'après Brisson.

§ 2. *Terrassements :*

Terrassements ordinaires.

707. Sujétions qu'exigent les remblais. — 708. Position de la cuvette. — 709. Soins d'exécution.

Grandes tranchées et grands remblais.

710. Cuvette placée dans un roc fissuré. — 711. Déblais argileux. En détourner les eaux. — 712. Etablir une large banquette de halage. — 713. Drainer les talus. — 714. Soins spéciaux près de la banquette. — 715. Eloignement des cavaliers. — 716. Murs de soutènement. — 717. Réparation d'éboulis argileux. — 718. Grands remblais. Leurs dangers. — 719. Nécessité d'une bonne assiette. — 720. Qualité des terres à employer. — 721. Tassements à prévoir.

§ 3. *Travaux d'étanchement.* — 722. Avantages des étanchements. — 723. Deux sortes de filtrations. — 724. Filtrations locales. — 725. Etanchement par le sable. — 726. Filtrations à la jonction des remblais et du sol. — 727. Filtrations générales et non apparentes. — 728. Etanchement à l'eau trouble. — 729. Corrois argileux. — 730. Etanchement à la craie. — 731. Revêtements maçonnés. Briques et corrois. — 732. Emploi du béton. — 733. Filtrations suivies de sous-pressions. — 734. Résumé.

§ 4. *Réservoirs. Notions générales.* — 735. Utilité des réservoirs. — 736. Recherche des emplacements. — 737. Etude de la capacité utile. — 738. Emplacement de la digue.

§ 5. *Barrages en terre.* — 739. Hauteur des barrages en terre. — 740. Largeur en couronne. — 741. Composition du massif. — 742. Inconvénient des terres trop argileuses. — 743. Profil de la digue. — 744. Revêtement des talus. — 745. Talus d'amont. — 746. Revêtement de Montaubry. — 747. De Mittersheim. — 748. De Panthier. — 749. De Paroy. — 750. Position du parapet. — 751. Chaussée en couronne. — 752. Talus d'aval. — 753. Soins à donner au remblai. — 754. Régalage et trituration du corroi. — 755. Ouvrages accessoires. — 756. Prise d'eau de Montaubry. — 757. De Panthier. — 758. Du Paroy. — 759. Bassins de décantation et fossés de ceinture. — 760. Déversoirs. — 761. Déversoir siphon de Mittersheim. — 762. Soins spéciaux à la jonction des maçonneries et du terrain. — 763. Digues en

terre en Angleterre. — 764. Accident du déversoir de Bradfield. — 765. Digues Hindoues. — 766. Digues de Ceylan. — 767. Conclusion.

§ 6. *Barrages en terre et maçonnerie.* — 768. Digue de Saint-Ferréol.

§ 7. *Barrages en maçonnerie.* — 769. Avantages des digues en maçonnerie. — 770. Nécessité d'établir les grands murs sur rocher. — 771. Disposition du mur en forme de voûte. — 772. Profil à adopter. — 773. Murs de faible hauteur. Exemples. — 774. Murs de hauteur moyenne. — 775. Murs de grande hauteur. — 776. Etude des pressions. Action d'un mur rigide sur une fondation compressible, la force étant normale à la fondation. — 777. Cas d'une force oblique à la couche de fondation. — 778. Calcul de l'effort d'écrasement sur l'arête comprimée. — 779. Effort de rupture vers l'arête soulevée. — 780. Effet des forces actives sur un mur déformable. — 781. Forme du parement d'amont. — 782. Conclusion. — 783. Développement de la première condition. — 784. Forme d'un mur qui n'a à soutenir que son propre poids. — 785. Emploi à la base de matériaux plus résistants. — 786. Pressions dans l'intérieur du mur. — 787. Conclusion. — 788. Homogénéité de la construction. — 789. Imperméabilité des maçonneries. — 790. Examen des conséquences des accidents. — 791. Détermination de la forme d'un mur. — 792. Densité de la maçonnerie. — 793. Résistance à l'écrasement. — 794. Rapport de la densité à la résistance. — 795. Qualité des matériaux. — 796. Revanche sur le niveau normal. — 797. Epaisseur au couronnement. — 798. Tranche supérieure. — 799. Détermination des épaisseurs à des hauteurs diverses. — 800. Mise en charge progressive des maçonneries. — 801. Prises d'eau. — 802. Boudes de fond. — 803. Déversoirs. — 804. Création probable de réservoirs.

§ 8. *Décantation des réservoirs naturels.* — 805. Soutirage des lacs des Pyrénées. Vidange du lac Bleu. — 806. Réservoirs du Rio Rimac au Pérou.

§ 9. *Souterrains.* — 807. Ouverture. — 808. Chemin de halage. — 809. Largeur de la cuvette. — 810. Profondeur de la cuvette. — 811. Tonage dans les souterrains.

Figures :

Coupe transversale de la digue de Montaubry, art. 746. — Coupe transversale de la digue de Cercey, art. 750. — Les murs des Settons, d'Almanza, de Bosméléac, de Lampy, de Glomel et du Vioreau, art. 773. — Le mur d'Elche, art. 774. — Actions d'un mur sur une fondation; trois figures, art. 776 et 777. — Calcul de l'effort sur l'arête comprimée, art. 778. — Effort de rupture vers l'arête soulevée, art. 779. — Fondation non homogène, art. 788. — Epaisseurs du mur à des hauteurs diverses, art. 799.

Petites planches :

Revêtements applicables aux terrains très perméables et exposés à des sous-pressions, art. 731. — Revêtement dans un terrain très perméable, mais non exposé à des sous-pressions, art. 732. — Prise d'eau de Montaubry, art. 756. — Déversoir du Tillot, art. 760. — Réservoir de Mittersheim, art. 761. — Digues en terre en Angleterre, art. 763. — Digues hindoues, art. 765. — Digue de Saint-Ferréol, art. 768. — Murs de hauteur moyenne, deux planches, art. 774. — Murs de grandes hauteurs, deux planches, art. 775. — Profils théoriques, art. 799.

§ Ier

TRACÉ AUX ENVIRONS DU BIEF DE PARTAGE

Ce que nous avons dit des sujétions nombreuses qui s'imposent aux canaux, soit comme exécution première, soit comme alimentation, fait comprendre l'immense intérêt qui s'attache au choix de leur tracé.

702. Étude de la partie haute. — Ce tracé, tout d'abord, a des points commandés qui le jalonnent. Ils sont imposés, dans chaque cas particulier, par des besoins commerciaux pour lesquels le canal se crée, et sont, par suite, hors de discussion. De là résulte, en général, pour la partie inférieure, des sujétions assez multipliées pour que l'hésitation se restreigne à des points de détail dont l'étude vient aisément à bout. Il n'en est pas de même, toutefois, pour la partie supérieure, où les centres industriels et commerciaux sont rares et où les considérations techniques prennent un rôle prépondérant, tant à cause du prix spécialement élevé de la construction que des nécessités de l'alimentation au point culminant des deux branches. Nous allons examiner, en conséquence, l'emplacement à assigner au bief de partage dans la chaîne traversée par un canal.

703. Col à choisir. — Il convient, en premier lieu, que le passage d'un versant à l'autre s'effectue le moins haut possible, afin de diminuer, autant que faire se peut, l'ascension des bateaux qui doivent redescendre le second versant. De là, un premier choix parmi les cols qui avoisinent la direction générale du tracé.

Il faut en outre que l'on puisse recueillir sur les hauteurs avoisinant ce col, et au-dessus de son niveau, le volume d'eau nécessaire à l'alimentation du bief de partage.

Ces deux conditions se remplissent le plus souvent en même

temps, puisque d'habitude les plus fortes dépressions de la chaîne sont celles où l'on peut le plus facilement accumuler les eaux ; mais il n'en est pas toujours ainsi, et, dans ce cas, l'ingénieur ne perdra pas de vue qu'en matière de navigation la distance parcourue est un élément du trafic très important, assurément, mais moins capital peut-être que l'approvisionnement d'eau. Il est probable que c'est une considération de ce genre qui a déterminé le tracé du canal de Briare par cette ville et la vallée du Loing ; on trouvait là, en effet, la possibilité de dériver la rivière du Loing et de profiter des eaux accumulées par des étangs de 480 hectares ; en passant par la vallée de l'Essonne, on aurait pu profiter d'un col plus bas, et avoir moins de hauteur à franchir entre la Loire et la Seine ; mais les ressources alimentaires auraient certainement fait défaut, et cette considération justifie pleinement la préférence attribuée au tracé adopté.

704. Étude sommaire sur la carte. — On recourra donc, pour l'étude du point de partage, à une carte cotée fournissant l'étendue de chacun des bassins des cours d'eau supérieurs aux cols que l'on compare ; on appréciera, en s'aidant des jaugeages sommaires et de considérations hydrologiques, la richesse en eau qui peut être accumulée pendant l'été à chaque passage possible, et l'on choisira le tracé le plus court parmi ceux qui satisfont au programme.

705. Tranchée ou souterrain. — Dans certaines localités favorisées, le bief de partage a pu s'établir dans le col même à l'aide d'une simple tranchée ; mais, le plus souvent, cette solution échappe et l'on doit recourir à un souterrain pour percer le sommet de la chaîne. La question se complique alors du choix de l'emplacement de ce souterrain, et force à tenir compte de sa longueur aussi bien que des terrains qu'il traversera. C'est une étude de plus ; toutefois, le plus souvent, cette étude se simplifie, en ce que les chaînes de montagne, près de leur sommet, sont moins épaisses dans leurs dépressions qu'ailleurs ; de telle sorte que, soit pour une tranchée, soit pour un souterrain, on est ramené d'habitude au choix du col le plus bas et le mieux approvisionné.

706. Indications premières d'après Brisson. — Brisson, dont le nom doit toujours être cité en première ligne lorsqu'il s'agit de navigation intérieure, a tracé une règle destinée à faciliter les recherches et à suppléer au défaut de cotes sur les cartes.

S'appuyant sur la constitution générale de la surface terrestre, Brisson a montré que les dépressions qui permettent le mieux de passer d'un bassin dans le bassin voisin, à travers la chaîne séparative, se trouvent d'habitude :

1° Quand deux thalwegs secondaires partent d'une chaîne de montagnes en deux points opposés très rapprochés;

2° Quand deux thalwegs principaux, après avoir été parallèles et dirigés dans le même sens, divergent en sens opposé;

3° Quand deux thalwegs parallèles ont leurs pentes inverses.

Si l'on se représente, en effet, les reliefs du sol comme des prismes dont la crête, c'est-à-dire l'arête supérieure, a une inclinaison dans le même sens que le thalweg, c'est-à-dire que l'arête inférieure, on reconnaîtra facilement l'évidence de ces règles qu'une haute sagacité seule pouvait cependant établir. On comprendra comment le premier cas conduit presque toujours à un souterrain, tandis que les deux autres permettent des tranchées et que le troisième correspond, toutes choses égales d'ailleurs, au plus large approvisionnement d'eau.

Quelques exemples feront mieux comprendre les règles posées par Brisson.

Au canal de Saint-Quentin, où le tracé réunit les sources de la Somme et de l'Escaut, coulant en sens contraire, il y a souterrain.

Au canal de Bourgogne, qui réunit la source de l'Ouche à celle de l'Armançon, il y a souterrain, et ces deux cours d'eau divergent dès leur origine.

Au contraire :

Le canal du Midi, réunissant la Garonne à l'Aude, au point où ces deux rivières, coulant dans le même sens, viennent à diverger, a pu rassembler au col de Naurouse toutes les eaux nécessaires à son alimentation, et s'y établir en tranchée.

Le canal de Briare, passant de la Loire au Loing, sur la

partie de leur cours où les cours d'eau s'écartent, est encore sans souterrain.

Il en est de même du canal du Centre, en ce qui concerne la Saône et la Loire, et du canal des Ardennes à propos de la Meuse et de l'Aisne.

Nous n'insisterons pas d'ailleurs sur ces règles, dans un pays comme le nôtre où les cartes fournissent aujourd'hui tous les éléments de certitude au sujet de la hauteur des cols ; mais il n'en est pas moins utile de connaître ces principes en raison des applications dont ils sont susceptibles partout où peuvent s'établir des canaux.

Au delà du bief de partage et de ceux qui en dépendent, chaque branche d'un canal à point de partage devient, nous le savons, un canal latéral pour la vallée qu'elle suit, en sorte que nous n'avons pas à revenir sur ce que nous avons déjà dit au sujet du tracé des canaux latéraux.

§ II

TERRASSEMENTS

Terrassements ordinaires.

707. Sujétions qu'exigent les remblais. — Les remblais destinés à l'assiette des canaux sont soumis à une sujétion plus grande que ceux qui doivent recevoir des routes et des chemins de fer ; ils doivent être étanches en même temps que solides, et cette obligation force à entourer leur exécution de soins spéciaux. On a vu, en effet, que la perméabilité des digues donnait lieu à la plus grande des déperditions des canaux, et, à cette considération fort importante, il y a lieu d'ajouter la chance d'avaries et d'interruption de navigation que causeraient des remblais détrempés prêts à couler et à former une brèche, par laquelle toute l'eau d'un bief ferait irruption sur les terrains avoisinants.

708. Position de la cuvette. — Il ne faut donc pas, en matière de construction de canal, attacher une aussi grande importance à l'égalité des déblais et des remblais que lorsqu'il s'agit d'un chemin de fer ou d'une route, et il est bon, notamment, autant que faire se peut, que le plafond du canal au moins soit entièrement en déblai. Nous avons déjà montré ce que coûte l'eau perdue; on verra plus tard ce que valent les travaux d'étanchement, et l'on comprendra alors combien peuvent être dangereuses les économies de construction qui seraient de nature à compromettre l'étanchéité de la cuvette. Cette considération d'étanchéité doit, d'ailleurs, être toujours présente à la pensée de l'ingénieur qui projette ou construit un canal, parce qu'elle se rattache à la qualité prépondérante de ces voies de communication.

709. Soins d'exécution. — Ceci dit, examinons ce qu'il y a à faire pour établir une digue en remblai, et la souder au sol naturel à l'aide de terres tirées du déblai.

La première précaution à prendre est de décaper soigneusement le sol sur lequel on va l'établir, en le labourant, en faisant disparaître toute trace de végétation, et en le dressant en petits redents horizontaux et verticaux qui rachètent son inclinaison générale par une succession de surfaces bien avivées.

Les terres jetées à la pelle dans le profil, ou roulées à la brouette quand la distance l'exige, sont immédiatement émottées, brisées et régalées par couches de $0^m,15$ à $0^m,20$ au plus ; on les pilonne, soit avec des pilons échancrés, soit à l'aide de rouleaux cannelés, en les arrosant légèrement dans la mesure nécessaire pour les rendre un peu compressibles sans les détremper assez pour qu'elles deviennent glissantes.

Quand la distance à laquelle les transports s'effectuent dépasse celle que comporte l'emploi de la brouette, on a recours aux tombereaux que l'on fait passer toujours sur les remblais. Leurs roues, en y creusant de profondes ornières, font pénétrer les unes dans les autres les couches diverses de terre et opèrent ainsi une très bonne soudure. Jamais, pour la construction de la digue d'un canal, on ne doit user du transport au wagon et exécuter les remblais sur toute leur hauteur à la fois, ainsi

que cela se pratique le plus souvent pour les chemins de fer ; il en résulterait des tassements et des pertes qui dépasseraient de beaucoup l'économie réalisée.

Toutes ces précautions doivent être observées principalement autour des ouvrages d'art, pour obtenir une bonne liaison des terres et des maçonneries, ainsi qu'aux points de passage de la cuvette du déblai au remblai, points où la séparation du terrain rapporté et du sol tend plus qu'ailleurs à se produire.

Grandes tranchées et grands remblais.

710. Cuvette placée dans un roc fissuré. — Les difficultés d'exécution croissent beaucoup avec la profondeur des déblais ou la hauteur des remblais, et nous nous arrêterons un instant sur ce qui concerne les grandes tranchées et les grands remblais.

Quand les tranchées sont ouvertes dans un sol ferme, résistant, peu attaquable par les agents atmosphériques, on opère pour les canaux comme pour toute autre voie de communication, et nous n'avons rien de spécial à en dire, si ce n'est que lorsque la cuvette est creusé dans un rocher fissuré, il est rare qu'on n'ait pas avantage à la revêtir dès le début d'un parement maçonné, et à s'éviter ainsi pour l'avenir des étanchements coûteux et difficiles. On adopte d'ailleurs, pour les talus, les inclinaisons des tranchées des chemins de fer; on leur donne les mêmes revêtements, et nous n'insisterons pas sur cet objet, traité dans un autre ouvrage.

711. Déblais argileux. — En détourner les eaux. — Lorsque les déblais sont ouverts dans l'argile, la présence constante de l'eau au pied des talus est une difficulté de plus, et il est indispensable de prendre les plus grandes précautions pour que les terrains placés au-dessus des banquettes ne puissent ni se mettre en mouvement, ni surtout entraîner dans leur mouvement la cuvette elle-même du canal.

Pour y arriver, la première chose à faire est de détourner par des fossés longitudinaux à la fouille toutes les eaux qui

pourraient s'infiltrer dans le sol voisin des talus, les ramollir et y provoquer des affaissements ; il n'est pas moins utile d'assurer, par un bon entretien, l'écoulement de ces eaux en dehors des parties exposées.

712. Établir une large banquette de halage. — Il faut, en second lieu, compter sur une large banquette de halage sur chaque rive, malgré l'accroissement de dépense qui peut en résulter, afin que les mouvements, s'ils viennent à se produire, aient lieu au-dessus de la cuvette et n'interceptent pas la navigation ; 4 à 5 mètres de largeur nous semblent nécessaires, dût-on se procurer par l'emploi de perrés ou de murs de soutènement une inclinaison des talus un peu plus roide que ne l'exige le terrain naturel.

713. Drainer les talus. — Dans les talus en déblai, les suintements qui viennent à se rencontrer doivent être l'objet de recherches minutieuses ; on remonte leur cours aussi loin qu'on le peut sans provoquer d'éboulements et on assure leur passage dans les terres et le long des talus jusqu'à la cuvette, de façon à produire sur toute la surface de la tranchée un drainage très soigné. Partout où des traces d'humidité se font sentir, on place des drains, on pousse ces recherches jusqu'en dehors de l'argile, si le terrain solide n'est pas loin du talus, et l'on veille, en un mot, à ce que nulle part il n'y ait d'eaux emprisonnées qui puissent détremper la masse argileuse et donner naissance à des mouvements d'ensemble dont il serait impossible de devenir maître une fois qu'ils auraient commencé à se produire.

714. Soins spéciaux près de la banquette. — Cet assèchement des talus doit être d'autant plus soigneusement assuré qu'on se rapproche davantage des banquettes ; quelques petits éboulements superficiels seraient sans danger tant qu'ils n'embrasseraient que le haut des talus, mais l'avarie prendrait une gravité extrême si la banquette du canal venait à participer elle-même au mouvement. On veillera donc à ce que la zone immédiatement supérieure à cette banquette soit aussi profon-

dément drainée que faire se pourra ; les drains et les pierrées devront d'ailleurs avoir une inclinaison suffisante à donner aux eaux un écoulement facile, et aucune stagnation ne devra être possible sur la banquette dont l'inclinaison transversale sera réglée et entretenue en conséquence.

715. Éloignement des cavaliers. — Les terrains retroussés en cavalier seront en outre placés assez loin des bords de la tranchée, pour n'avoir aucun effet sur l'équilibre des talus.

Telles sont les précautions à prendre dans les tranchées argileuses pour prévenir les mouvements. Si l'on a pu les réaliser pendant la belle saison en opérant avec rapidité, si l'écoulement des eaux s'opère bien pendant l'hiver, par toutes les issues ménagées, si, d'ailleurs, les surfaces sont revêtues de perrés, de plantations, de gazonnements, on a chance d'échapper aux avaries. Néanmoins les éventualités malheureuses sont si nombreuses, surtout avec la présence constante de l'eau au pied des talus, qu'on agira sagement en évitant les grandes tranchées argileuses quand on le pourra.

Toutefois, on n'a pas toujours le choix ; on est souvent forcé, d'ailleurs, de consolider des tranchées existantes dont certains indices peuvent faire craindre un mouvement, et l'assèchement que nous venons d'indiquer est le premier des remèdes à appliquer, parce qu'il s'attaque directement à la cause et peut par suite prévenir l'effet.

716. Murs de soutènement. — Quant à résister à cet effet d'une manière directe en consolidant le pied de la tranchée, et en opposant par exemple un mur à la poussée des terres ramollies, il n'y faut penser que dans un seul cas, c'est quand la couche argileuse est assez peu épaisse pour que le mur de soutènement puisse s'appuyer sur les couches incompressibles qui la supportent. Hors ce cas spécial, qu'on est loin de pouvoir toujours réaliser, le sol se détremperait autour du mur lui-même jusqu'à ce que la masse toute entière s'ébranlât et le mal différé n'en serait que plus considérable. On ne perdra donc pas de vue d'une manière générale que, po

prévenir les ébranlements d'une tranchée argileuse, il faut drainer les talus le plus possible et aussi profondément que possible, en écartant d'ailleurs du sol à consolider toutes les eaux qu'il est possible de dériver.

717. Réparation d'éboulis argileux. — Quand l'éboulement a eu lieu et qu'on doit rétablir le profil du canal, les mêmes considérations conduisent à des travaux analogues : on coupe alors les masses éboulées par de nombreuses pierrées assises sur le sol qui n'a pas participé au mouvement, et on assure l'écoulement des eaux de toute la surface de glissement par des issues spéciales qui assèchent la masse détrempée. Une fois l'équilibre rétabli, il devient possible de reproduire l'ancien profil, si l'on prend soin d'ailleurs de remanier assez les terres éboulées pour qu'il ne reste autour de la cuvette aucune des fissures que produit habituellement le mouvement. C'est ainsi qu'au coteau d'Avrilly, le canal de Roanne à Digoin a pu recevoir une assiette solide sur des terrains qui étaient en mouvement depuis très longtemps et qui, en 1856, avaient bouleversé la cuvette.

718. Grands remblais. — Leurs dangers. — Les grands remblais sont encore plus périlleux pour les canaux que les grands déblais. On conçoit que, bien exécutés, et assis sur un sol susceptible de les supporter, ils puissent ne pas produire par eux-mêmes les grands mouvements que font redouter les couches argileuse des tranchées ; mais, en revanche, que de temps ne mettent-ils pas à opérer un tassement assez complet pour devenir étanches. Et pendant la durée de ces tassements, quelle ne sera pas la consommation d'eau d'une levée d'une certaine longueur. Comment, d'ailleurs, l'étanchéité pourra-t-elle se réaliser si d'abondantes filtrations entretiennent les fissures du remblai ? Il y a là un cercle vicieux auquel il est prudent de ne s'exposer que lorsqu'on a tous les éléments de succès réunis. Ces éléments sont :

719. Nécessité d'une bonne assiette. — D'abord un terrain solide dans l'espace à remblayer, de façon que le poids

des terres ne l'écrase pas. Si le sol présente cette qualité, on la maintiendra en assurant avec le plus grand soin l'écoulement des eaux naturelles au travers des remblais futurs, dans leur partie basse.

720. Qualité des terres à employer. — En second lieu, des terres de bonne qualité pour faire les remblais, c'est-à-dire un mélange de sable et d'argile dans lequel la proportion d'argile soit suffisante pour lier le sable et assez faible pour que la masse ne soit pas compressible.

721. Tassements à prévoir. — Enfin, du temps devant soi pour laisser se produire les tassements que l'on ne peut éviter, quoiqu'on fasse, et qui exigent plusieurs années pour être à peu près définitifs. En d'autres termes, si l'on a de grands remblais à exécuter, c'est par eux qu'il faut commencer les terrassements en employant tous les moyens possibles pour les rendre sûrs et étanches.

On élargit d'ailleurs les digues, on adoucit les talus et on multiplie les banquettes, en accumulant d'autant plus les précautions que l'eau d'alimentation est plus précieuse.

§ III

TRAVAUX D'ÉTANCHEMENT

722. Avantages des étanchements. — Malgré tous les soins qui peuvent être pris pour la construction d'un canal, on doit toujours s'attendre, d'après les chiffres de déperdition que nous avons cités plus haut, à des consommations d'eau considérables, surtout pendant les premières années d'exploitation. Ces pertes amènent avec elle non seulement des chômages et une grande gêne pour la navigation, en raison des courants alimentaires qu'on est obligé de laisser se former dans la cuvette, mais encore elles contraignent à augmenter

les réserves d'été, à dériver de plus nombreux cours d'eau, et à troubler ainsi d'une façon aussi regrettable que dispendieuse les droits acquis et le régime hydraulique de tout un pays.

Il est donc rationnel d'opérer, autant qu'on le peut, en sens inverse, en réduisant à leur minimum la principale cause de déperdition, les filtrations ; c'est là le but des travaux d'étanchement dont nous allons parler. Ces travaux sont destinés à jouer un rôle chaque jour plus considérable parmi les améliorations qu'exige la navigation intérieure, à mesure que les eaux libres deviendront plus rares, ou seront mieux utilisées par l'agriculture et l'industrie.

723. Deux sortes de filtrations. — Les filtrations sont de deux sortes, les unes locales et apparentes, les autres générales et invisibles. Dans le premier cas, ce sont des fissures à fermer; dans le second, c'est l'absorption par un sol perméable à faire disparaître. De là deux catégories d'ouvrages bien distinctes.

724. Filtrations locales. — Les filtrations locales ont une importance qui se mesure par le volume d'eau apparent qu'elles produisent. Parfois elles sont dues à des conduits naturels du sous-sol ; dans ce cas, si l'on peut assécher le canal, on recherche l'orifice d'entrée, on l'élargit de façon à pénétrer jusqu'au sol solide, où l'on reconstitue la partie manquante, soit au moyen de maçonnerie, soit au moyen de bonne terre franche bien pilonnée jusqu'au niveau du plafond. On consolide d'ailleurs ce plafond dans le voisinage, afin que les eaux ne reprennent pas leur passage en se creusant un conduit latéral, et le mal s'arrête.

725. Étanchement par le sable. — Si l'on ne peut pas assécher le canal, on juge par l'appel qui se forme à la surface de l'eau de la position de la filtration, et on y jette du sable ou du gravier qu'entraîne dans les conduits la pression de l'eau. Ces matériaux s'arrêtent dans les sinuosités de la fissure et l'atténuent ; du sable plus fin que l'on y jette ensuite rend

la fermeture plus complète, et la perte finit par s'assécher d'elle-même tant par l'argile que l'eau tient en suspension que par les dépôts de toute sorte qu'elle forme avec le temps.

726. Filtrations à la jonction des remblais et du sol. — D'autres fois, et c'est le cas le plus général, on observe sur une longueur assez considérable de canal des suintements presque continus le long de la digue en remblai. Ces suintements sont le résultat d'une jonction imparfaite des remblais avec les déblais, et proviennent : ou d'une exécution première moins soignée, ou de variations hygrométriques dans les terres en contact qui ont amené des changements de volume. On recoupe alors la digue qui fuit par une entaille longitudinale de $0^m,60$ à $0^m,80$ de largeur, que l'on descend jusqu'au bon terrain et que l'on remplit jusqu'au niveau de l'eau en corroi ou en maçonnerie.

En un mot, à chaque mal local, on oppose le remède local qu'indiquent les circonstances particulières à chaque déperdition ; il est difficile de poser des règles qui puissent s'appliquer à des pertes dont les causes peuvent être très différentes.

727. Filtrations générales et inapparentes. — Les filtrations générales sont le résultat de la perméabilité du sol dans lequel est placée la cuvette. Elles se manifestent principalement dans les terrains de gravier et dans certains calcaires fissurés, à travers les fentes desquels l'eau peut s'échapper en quantité indéfinie.

Deux cas sont à distinguer : le canal peut être à un niveau assez élevé au-dessus du cours d'eau voisin pour que les filtrations aillent toujours du canal à la rivière ; ou bien il peut être assez bas pour qu'au moment des inondations l'eau des crues tende, en vertu de la perméabilité du sol, à rentrer dans la cuvette. Dans ce second cas, on a à se défendre contre les filtrations du dehors en dedans, aussi bien que contre celles du dedans au dehors, et il en résulte une sujétion beaucoup plus grande.

728. Étanchement à l'eau trouble. — Lorsque les filtrations vont toujours du canal à la rivière, plusieurs procédés peuvent être employés. Le premier porte le nom d'étanchement à l'eau trouble, et n'est que la reproduction artificielle de ce qui s'opère naturellement sur les biefs légèrement perméables abandonnés à eux-mêmes. Là, en effet, et surtout dans les parties de canal les plus voisines de leur point d'introduction, les eaux d'alimentation tapissent la cuvette de dépôts vaseux qui s'introduisent dans les interstices du sol et les ferment. On a cherché à obtenir le même résultat en jetant dans la cuvette de la terre argileuse et en brassant cette terre à l'aide d'une sorte de herse en bois que traînent des chevaux placés sur les banquettes. L'argile émiettée se tient en suspension et le courant l'entraîne et la dépose dans les conduits les plus ténus. Quant aux conduits moins étroits, ils s'étanchent mieux par le sable, et cette considération doit conduire à employer de préférence le sable argileux, afin que le triage s'opère naturellement et que l'opération soit plus promptement accomplie.

Cette méthode a été employée avec succès en Bavière par M. le baron Pechmann, au canal Louis. Essayée au canal de la Marne au Rhin près de Bar-le-Duc par M. Fouache, elle a donné par places d'assez bons résultats, tandis que, sur le canal du Rhône au Rhin où la cuvette est placée dans des couches de gros gravier roulé extrêmement perméables, elle n'a nullement réussi.

On ne s'étonnera pas de ces différences, car le succès exige des conditions qui ne sont pas toujours remplies.

Il faut d'abord que les conduits à fermer soient fins, si l'on veut que l'argile et même le sable puissent s'y arrêter ; s'ils sont, au contraire, larges, l'eau sort aussi trouble qu'elle est entrée, et aucun dépôt ne se fait. Or, le canal Louis, en Bavière, est creusé dans le sable fin, tandis que les parties du canal du Rhône au Rhin que l'on chercherait à étancher étaient dans le gros gravier.

Il est nécessaire, en second lieu, que la pénurie d'eau ne soit pas telle qu'on ne puisse introduire et maintenir 1 mètre d'eau au moins dans le canal. Sans la pression qui résulte de cette

hauteur d'eau, l'entraînement des matières est insuffisant et l'étanchement n'a pas lieu.

Il est bon, enfin, qu'on ne soit pas obligé de mettre le canal à sec, car toutes les fois que la dessication des dépôts s'opère l'argile prend du retrait et se fendille, ouvrant ainsi aux eaux un nouveau passage, plus aisément refermé que le premier il est vrai, mais qui n'en augmente pas moins la durée des chômages.

Ajoutons de suite que le procédé est inapplicable quand il peut y avoir sous-pression dans le canal, attendu que cette sous-pression détruit en un instant l'étanchement réalisé jusque-là. Dans les cas où on peut l'utiliser, il est très économique et ne représente, dit-on, qu'une dépense de 4 à 5 francs par mètre courant, pour obtenir une étanchéité moyenne.

729. Corrois argileux. — On a eu recours également à l'emploi de corrois argileux, qu'on appliquait de la manière suivante :

Sur le plafond convenablement creusé, on posait d'abord une première couche d'argile de $0^m,08$ d'épaisseur que l'on réduisait à $0^m,05$ par le damage ; au-dessus on plaçait une seconde couche absolument semblable dont on arrosait la surface, et sur laquelle on disposait à la main des cailloux de la grosseur de $0^m,04$ à $0^m,05$ que l'on enfonçait avec des dames. On arrosait ensuite de nouveau et l'on chargeait la surface de menus graviers que l'on pilonnait jusqu'à ce que les graviers et cailloux n'apparaissent plus à la surface. Au-dessus on plaçait une troisième, puis une quatrième couche, exécutées comme la seconde.

Le revêtement complet du plafond avait $0^m,30$ d'épaisseur et pénétrait sous les talus où il se reliait à un corroi de même nature assis par redents horizontaux et verticaux sur les talus à revêtir, et dessinant le profil normal à l'intérieur de la cuvette. Chaque redent avait $0^m,24$ de hauteur à peu près pour $0^m,36$ de base et se formait de trois couches d'argile et gravier composées comme les précédentes.

On reconnut qu'il y avait avantage à arroser les terres avec du lait de chaux grasse et que le pilonnage devait être fait

avec des dames de paveur, de façon à donner au corroi la compression la plus énergique.

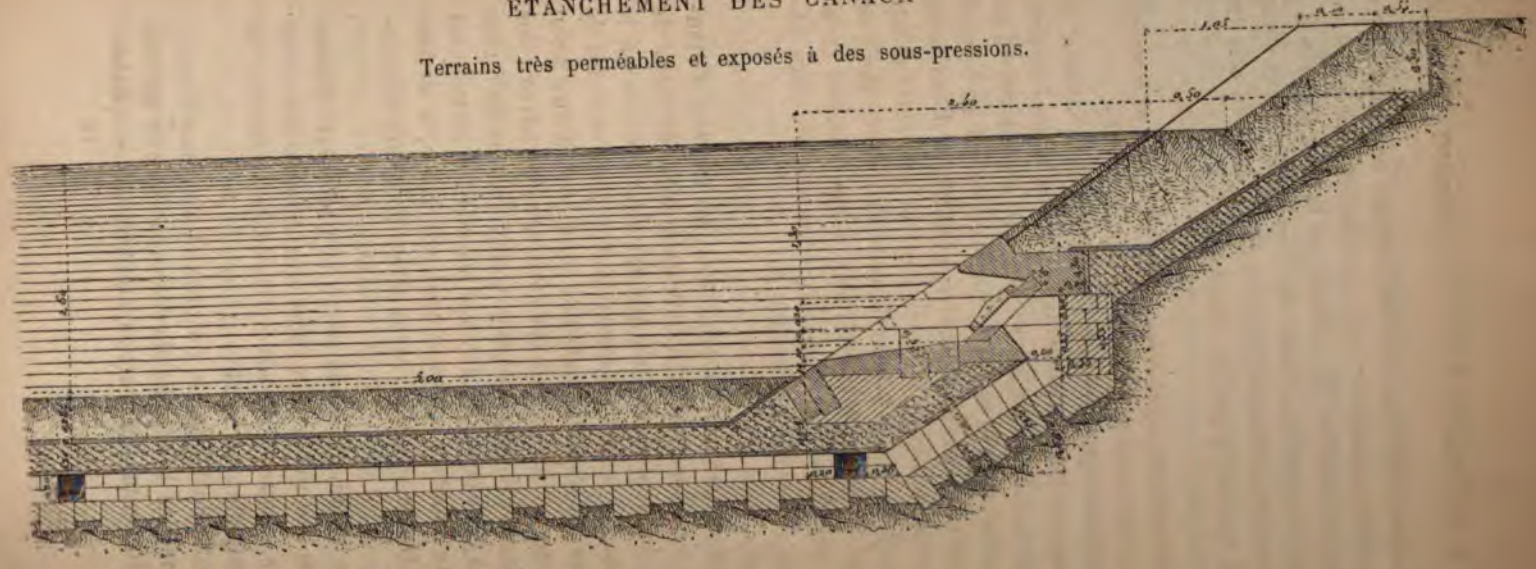
Ce procédé a réussi dans certains terrains de gravier très perméables du canal du Rhône au Rhin, mais il a échoué là où une roche fendillée, ou un amas de très gros cailloux, présentaient des vides tels que le béton d'argile pût s'enfoncer sous la pression de l'eau. On a compté pour son application une dépense de 20 à 25 francs par mètre courant de canal.

730. Étanchement à la craie. — Au canal de l'Aisne à la Marne, creusé dans un terrain crayeux des plus perméables, on a étanché quelques biefs au moyen de la craie prise dans la cuvette même. Pour cela, on creusait le fonds et les talus sur 0m,40 de profondeur et 100 mètres de longueur ; les déblais étaient transportés à l'extrémité de la partie du bief à étancher et déposés sur les digues, puis on prenait la craie des 100 mètres suivants pour les rapporter dans la fouille par couches successives de 0m,08 d'épaisseur. La craie de chacune de ces couches était découpée et brisée avec la bêche, et ensuite pilonnée jusqu'à ce que son épaisseur fût réduite à 0m,05. Après ce terrassement, on arrosait abondamment et on formait une seconde couche commencée comme la première du côté où se faisait le déblai, de manière que les brouettes passent sur les parties faites de la couche en cours d'exécution. Dans les talus, les fouilles étaient exécutées par retraites horizontales analogues à celles que nous avons décrites plus haut.

Ce procédé a été appliqué à une partie de canal de 22 à 25 kilomètres de longueur. Les pertes, qui étaient primitivement de 27.000 mètres cubes par kilomètre et par 24 heures, étaient réduites quatre ans après à 7 ou 800 mètres cubes. Sur un autre point les mêmes déperditions sont passées de 2.400 mètres cubes à 350, en sorte que l'on a pu considérer l'étanchéité comme obtenue. Nous devons ajouter, toutefois, que ces heureux résultats ne se sont pas entièrement maintenus. Il est possible que la craie pilonnée ait, avec le temps, perdu partout la cohésion que lui avait donné le battage. Certainement, dans les parties supérieures, sous l'action des froids et des pluies, le corroi crayeux a dû se boursouffler et se dis-

ÉTANCHEMENT DES CANAUX

Terrains très perméables et exposés à des sous-pressions.



Canal de Saint-Quentin.

loquer; en somme, bien que les déperditions ne rappellent en rien la perméabilité primitive, elles sont demeurées telles qu'il est nécessaire aujourd'hui de substituer la maçonnerie à ce revêtement trop impressionnable sur lequel on ne peut compter que d'une manière relative. Le remède a donc eu une certaine efficacité, mais il a été insuffisant.

731. Revêtements maçonnés. — Briques et corrois. — La maçonnerie est employée avec plus de succès.

Au canal de Saint-Quentin, où le sol, crayeux comme au canal de l'Aisne à la Marne, donnait lieu à des fuites énormes, on a obtenu un excellent résultat en plaçant, sous le corroi argileux dont on tapissait la cuvette, un revêtement en briques posées à plat sur une couche de mortier de $0^m,05$ d'épaisseur adhérente aux terres. On ne pouvait espérer que cette mince épaisseur de maçonnerie subsisterait sans se fendre, mais on était à peu près certain que les fissures demeureraient assez petites pour que le corroi n'en ressentit aucun dommage sérieux. (Voir la planche de la page 288.)

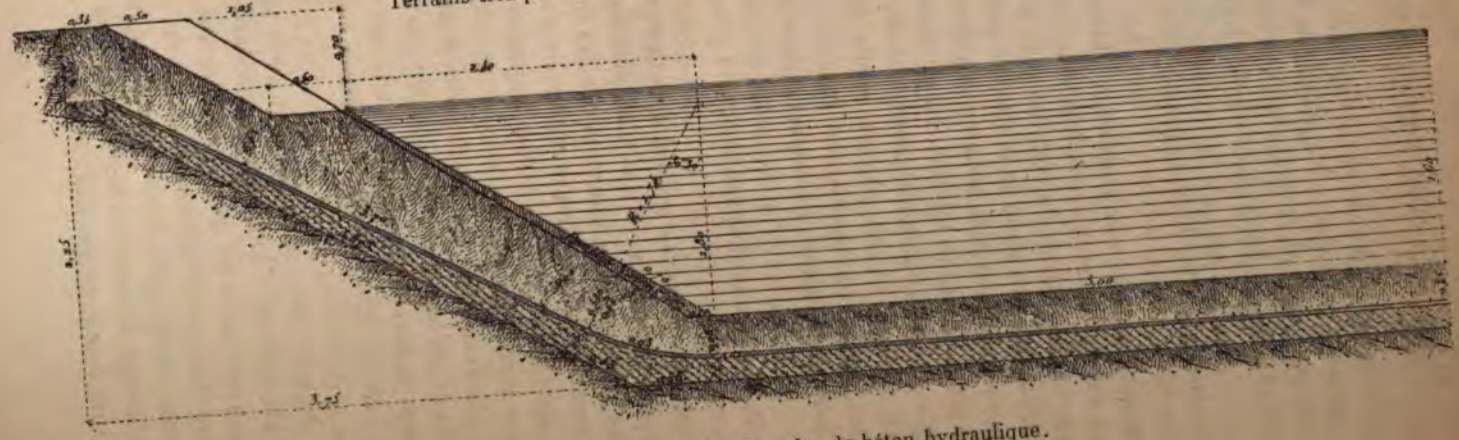
732. Emploi du béton. — Toutefois, les travaux d'étanchement les plus importants et les plus décisifs, au point de vue des succès obtenus, sont ceux qui ont été exécutés sur le canal de la Marne au Rhin. Ils consistent en une chemise de béton hydraulique de $0^m,15$ d'épaisseur appliquée d'une façon continue sur les terres jusqu'à $0^m,20$ au-dessus du niveau des eaux. (Voir la planche de la page 290.) Cette chemise ne forme pas la paroi de la cuvette, mais elle est parallèle à cette paroi et recouverte d'au moins $0^m,30$ de terre; elle porte, à sa face supérieure, une chape générale en mortier de $0^m,02$ d'épaisseur.

L'exécution de ce diaphragme bétonné présentait d'assez grandes difficultés qui ont été très heureusement surmontées par M. Malézieux, lequel s'est servi, en les complétant, de premiers essais exécutés par M. Fouache.

La fouille a été conduite avec le plus grand soin, aux dimensions voulues pour que la couche de béton soit assise sur un sol bien nettoyé de toutes les parties meubles qui empêche-

ÉTANCHEMENT DES CANAUX

Terrains très perméables, mais non exposés à des sous-pressions.



Canal de la Marne au Rhin. Chemise de béton hydraulique.

raient l'adhérence du béton, et rendu aussi dur et aussi résistant que possible. Les terres les plus fines et les plus douces ont été réservées pour en former la première couche du remblai, et éviter ainsi le contact des pierres et de la chape en mortier.

Le béton est amené sur le plafond et régalé horizontalement un peu plus haut que sa surface future, on le pilonne alors énergiquement jusqu'à ce qu'il devienne bien compact et que le mortier qu'il renferme reflue à la surface; pour l'appliquer sur les talus on le dépose d'abord sur une aire en planches étendues sur le plafond, et on le lance à la pelle sur les plans inclinés pour y former une succession d'assises de $0^m,20$ d'épaisseur au plus, qui sont pilonnées verticalement avec des dames rondes et perpendiculairement à la surface avec des dames plates, jusqu'à ce que chaque partie soit bien unie à celle qui la précède et convenablement ramollie. On augmente un peu l'épaisseur du béton à l'angle de jonction du plafond et des talus.

Le béton, immédiatement après avoir été pilonné, doit être battu avec une savate légère pesant 4 kilogrammes environ, formée de deux cuirs garnis de gros clous analogues aux clous de souliers. Quand le béton a acquis un peu de consistance, on le bat avec une savate plus lourde pesant au moins 10 kilogrammes, formée de quatre cuirs superposés et armée de grosses têtes de clous : il faut qu'on n'aperçoive plus une seule pierre à la surface du béton.

Vingt-quatre heures au moins après cette première opération, on nettoye et on arrose le béton, on le gratte même au vif s'il commence à durcir, et on pose la chape en mortier avec la truelle, en la fouettant sur le béton, de manière que l'adhérence soit intime; on la lisse en lui donnant une épaisseur de $0^m,02$ à $0^m,025$ et le lendemain de la pose, quand elle commence à durcir et à se fendre, on la dame avec une dame légère, en ayant soin de ne pas frapper sur les fentes elles-mêmes avant d'en avoir rapproché les lèvres par un damage sur le mortier voisin pour fermer, tout d'abord, le fond de la fissure. Un battage à la savate légère complète la liaison de la chape et assure son homogénéité.

Si, plus tard, quelques gerçures viennent à se manifester, on les ferme à la truelle; et, dès que la prise est faite, on remblaie avec les terres approvisionnées dans ce but.

Il faut apporter des soins particuliers à la reprise des couches exécutées pendant des journées différentes, pour que la soudure soit meilleure. A chaque arrêt du chantier, on termine la couche interrompue en biseau, et on rend l'interruption aussi faible que possible en longueur, en faisant marcher simultanément les talus et le plafond. On veille d'ailleurs à ce que les reprises de la chape ne coïncident jamais avec celles du béton, mais se recouvrent de $0^m,20$ au minimum.

Au canal de la Marne au Rhin, des travaux de ce genre ont été exécutés sur une très grande échelle; ils ont coûté environ 60 francs par mètre courant, et 1.900.000 francs en totalité. Leur adoption a évité une dérivation de la Meuse estimée 600.000 francs, des réservoirs évalués à 2.600.000 francs et elle a diminué de plus de 1.200.000 francs les indemnités à payer aux usines que devaient atteindre les nouveaux emprunts à faire aux cours d'eau. Il y a donc eu, non seulement économie considérable, mais encore avantage pour la navigation et pour les forces motrices qui ont été conservées à l'industrie.

733. Filtrations suivies de sous-pressions. — Le cas que nous venons de traiter, celui où le canal est à un niveau assez élevé pour que les filtrations s'effectuent toujours dans le même sens, est le plus général et peut donner lieu aux divers modes d'étanchement que nous venons de faire connaître; il nous reste à examiner ce qui doit être fait dans le cas où le canal est soumis à un appauvrissement pendant l'été, et, au contraire, à une sous-pression au moment des inondations.

Il est certain, tout d'abord, que cette action alternative des eaux est toujours un danger, et on trouvera là une nouvelle raison pour justifier la position du tracé au pied des coteaux, autant que faire se peut, même dans des terrains perméables. Toutefois, on n'est pas toujours maître de son choix; comme, d'ailleurs, la sous-pression ne se manifeste qu'accidentellement, au moment des débordements, il importe moins de la

combattre et de lui résister que de la mettre hors d'état de nuire aux revêtements établis, et voici le moyen qui a été employé avec succès au canal de la Marne au Rhin, dans la tranchée de Mauvages, par M. Malézieux. (V. l'art. 732.)

Il a fait reposer l'aire en béton sur un drainage obtenu par trois rigoles longitudinales, formées de deux murets en moellons posés à sec et recouverts par des madriers en chêne de $0^m,03$ d'épaisseur ou par des pierres plates. Ces rigoles longitudinales étaient réunies de 20 en 20 mètres par des rigoles transversales remontant alternativement sous les talus et débouchant dans le canal par des ouvertures munies de clapets, disposés de manière à s'ouvrir par l'effet de la sous-pression et à se fermer quand l'eau du canal était plus élevée que celle des couches traversées. Grâce à cette disposition, la couche de béton étanche servait, comme nous l'avons montré précédemment, à empêcher en temps normal la fuite des eaux du canal, et n'éprouvait aucune avarie de la sous-pression, puisque cette sous-pression disparaissait sous le jeu des clapets dès qu'elle tendait à se produire.

Tous les détails, relatifs à ces travaux d'étanchement au moyen du béton, sont consignés dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées*, par M. Malézieux (1856, 1er semestre). Nous y ajouterons toutefois une observation, dans l'intérêt de la réussite complète de l'opération.

On connaît les effets du batillage sur les canaux, à la hauteur de la flottaison. Tant par le clapotis des eaux que par les alternatives de sec et d'humide, les terres s'éboulent et le talus se creuse, en tout état de cause. Cet effet s'accentue encore sur les canaux munis d'une chemise de béton, dont les talus latéraux offrent un joint de glissement qui favorise le coulage des terres. En fait, sur le canal de l'Aisne à la Marne, où de nombreux revêtements de ce genre ont été exécutés, la partie supérieure du béton se trouve mise à nu, subit les influences de la gelée et les variations de volume du terrain, en sorte qu'une longue fissure règne à peu près partout à la hauteur de la flottaison. Par cette fissure s'opère une absorption considérable des eaux de surface.

Pour y remédier, nous avions proposé d'interrompre la

pente unique du talus latéral, en béton, par l'établissement d'une banquette horizontale de $0^m,50$ de largeur placé à $0^m,60$ environ au-dessous du niveau des eaux. Cette banquette permettra d'enfouir plus profondément la chemise étanche; en même temps elle soutiendra mieux les terres du talus mouillé, et les glissements qui s'opéreront auront besoin d'une amplitude plus considérable pour mettre les maçonneries à nu. On aura ainsi la possibilité d'effectuer les réparations à temps, ce qui n'a pas lieu aujourd'hui.

734. Résumé. — Pour résumer cette partie de la construction des canaux, nous dirons avec M. Mary que lorsque l'on doit étancher un canal, il faut chercher quelles sont les parties les plus perméables et commencer par celles-là. L'étude des différentes circonstances locales, telles que la nature du terrain, le genre des matériaux que l'on a à sa disposition, doit alors décider l'ingénieur à adopter tel ou tel système d'étanchement.

En général, le sable fin et un peu argileux doit être employé sur un sol de sable plus gros ou de petit gravier.

L'argile sera très utile pour fermer les filtrations dans le sable pur et fin, soit en l'étendant sur les parois de la cuvette, soit en la réduisant en boue que l'on traîne sur les parois à l'aide d'un châssis légèrement chargé.

Pour les cuvettes creusées dans les roches non gélives à fissures un peu larges, un bon rejointoiement peut à la rigueur suffire; mais pour les roches tendres et fissurées, il ne faut pas hésiter à adopter dès le principe la cuvette maçonnée.

Dans les sols de gros gravier, de cailloux, de pierrailles, il faut recourir aux corrois en argile sur briques à plat maçonnées, ou aux chemises en béton.

Et partout où une sous-pression est à craindre, la chemise en béton avec drainage inférieur semble être la solution la plus indiquée.

§ IV

RÉSERVOIRS

735. Utilité des réservoirs. — Quelqu'avantage que l'on puisse espérer se procurer par les travaux d'étanchement dont nous venons de parler, on ne saurait se flatter d'arriver à éviter, l'été, les énormes déperditions que subissent les canaux à point de partage. Le volume d'étiage des cours d'eau diminuant d'ailleurs sans cesse, plus la navigation se développera, plus il sera nécessaire d'emmagasiner, l'hiver, les eaux surabondantes pour subvenir aux besoins de la saison sèche. Nous avons vu précédemment les avantages que présentent les réservoirs à d'autres points de vue, en sorte que nous n'avons pas à insister sur l'utilité qu'offre leur étude.

736. Recherche des emplacements. — La première des questions à traiter est le choix de leur emplacement. Cet emplacement se trouve d'habitude dans les parties élevées du bassin, au confluent de deux ou de plusieurs vallons secondaires; leur place est fréquemment marquée par un étang déjà existant, ou au moins par un élargissement de la vallée la plus importante.

La carte du pays fournit à ce sujet les premières indications; et si l'on peut surtout se procurer une copie de la carte de l'état-major au 40.000^{ème} avec courbes horizontales, on fera aisément sur le papier une première reconnaissance qui circonscrira les recherches à un certain nombre d'emplacements bien déterminés.

Toutefois, entre les diverses localités susceptibles de servir à l'établissement d'un réservoir, il faut, en procédant à une étude comparative, apprécier celle qui répond le mieux et le plus économiquement aux besoins du programme qu'on s'est imposé.

737. Étude de la capacité utile. — L'élément essentiel est la capacité qu'aura le réservoir pour la hauteur de retenue à laquelle se prêtent les lieux. A défaut de cartes suffisantes, on lèvera le plan du périmètre à inonder, par courbes horizontales, de façon à apprécier le volume d'eau qui correspond à chaque hauteur de digue, et l'on en déduira le cube de l'emmagasinement possible.

On se reportera alors à la superficie du bassin destiné à alimenter le réservoir; et, à l'aide des observations pluviométriques, ainsi que des données que l'on aura pu recueillir sur la nature du sol, on vérifiera si le réservoir peut se remplir au moins une fois par an, dans les années les plus sèches. On tiendra compte de la composition géologique du terrain submergé et l'on rejettera tous les emplacements qui renferment des couches perméables.

738. Emplacement de la digue. — On reconnaîtra tout spécialement l'emplacement à assigner à la digue, c'est-à-dire celui où la vallée peut le mieux se barrer, en tenant compte de l'espace qui sépare les versants, et des exigences de chaque genre d'ouvrage, exigences que nous développerons ultérieurement.

Enfin, on évitera de placer le réservoir immédiatement au-dessus d'un village, afin qu'en cas de malheur le désastre soit moindre; l'effet produit par une rupture de digue s'affaiblissant beaucoup avec la distance parcourue.

Du reste, la recommandation qui s'impose et qui comprend toutes les autres, c'est de ne rien donner au hasard en semblable matière, et de ne jamais s'exposer soit à une dépense inutile, soit surtout à des accidents dont les suites peuvent être aussi terribles que celles qui accompagnent la rupture de digues. Plus encore que partout ailleurs, il faut que l'étude soit longue, minutieuse, complète, en un mot, avant qu'une proposition définitive soit émise.

Examinons maintenant l'ouvrage capital de toute retenue d'eau, la digue. Elle se construit aujourd'hui en terre ou en maçonnerie suivant la hauteur qu'elle doit avoir, et les fondations qu'elle rencontre. Autrefois, les digues ont été construites dans

un système mixte, terre et maçonnerie comme à Saint-Ferréol (canal du Midi) ; mais cet exemple n'a pas été imité.

Nous commencerons cette étude par les barrages en digues en terre.

§ V

BARRAGES EN TERRE

739. Hauteur des barrages en terre. — Les barrages en terre sont appliqués à peu près exclusivement quand la retenue n'a qu'une faible hauteur, c'est-à-dire n'excède pas une dizaine de mètres. On les emploie encore dans les dimensions supérieures, lorsque le sol qui doit les supporter n'est pas parfaitement incompressible. Leur hauteur, dans les exemples connus, dépasse rarement 20 à 25 mètres en France.

740. Largeur en couronne. — Il convient de leur donner, en couronne, une largeur de 5 à 8 mètres, tant pour assurer le passage des voitures sur la crête, en cas de réparations, que pour procurer au massif supérieur, battu par les lames et les glaçons, une résistance suffisante. Il se forme, en effet, sur ces lacs, des vagues d'autant plus fortes que la profondeur est plus grande, et que les vents violents enfilent mieux la direction générale de la vallée. On a observé, dit-on, sur l'étang de Chazilly (canal de Bourgogne), qui a 1.500 mètres de longueur, et près de 20 mètres de profondeur, des lames de 3 mètres de hauteur. Nous ignorons si cette mesure a été très rigoureusement prise ; l'orientation du réservoir est sud-ouest et nord-est ; et, sous ce rapport, il offre toute prise aux vents de tempête ; mais il est certain, en tous cas, que les lames n'ont pas besoin d'avoir une amplitude de 3 mètres pour produire des avaries considérables quand elles déferlent sur la digue. Il faut donc qu'elles trouvent, en y arrivant, une défense solide et assez élevée pour n'être pas surmontée. On l'obtient en donnant au couronnement une largeur suffisante, 5 à 8 mètres, et

en plaçant ce couronnement à un niveau un peu supérieur à celui des plus hautes vagues à craindre. On le surmonte, en outre, d'un solide parapet maçonné de 1 mètre au moins, destiné à arrêter l'embrun provenant des lames et à empêcher les dégradations qui pourraient résulter de cette projection d'eau sur le couronnement et les talus extérieurs.

741. Composition du massif. — Le massif de la digue doit être formé de corroi, c'est-à-dire d'une substance bien homogène et imperméable. Ce que l'on a trouvé de meilleur est un mélange d'argile et de sable, dans des proportions telles que chaque grain de sable soit parfaitement empâté dans l'argile, et que celle-ci ne soit nulle part en assez grande quantité pour permettre au mélange d'être compressible. M. Mary et M. Vallée estimaient que la bonne terre à corroi était celle qui, composée principalement de sable, ne contient que juste ce qu'il faut d'argile pour lier entre elles les parties sablonneuses; le meilleur sable est le plus gros, parce que chaque grain, une fois à sa place, a plus de stabilité.

Pour la digue de Mittersheim (Canal des Houillères de la Sarre), digue qui a parfaitement résisté, la terre employée contenait à peu près par moitié le sable et l'argile. (*Annales* de 1869, mois de mars. Notice de M. Hirsch.) On la mélangeait d'une faible proportion de chaux hydraulique à l'état de poudre ou de lait de chaux, suivant que le terrain était plus ou moins humide. La proportion de chaux semble pouvoir être d'environ 12 litres de chaux en poudre par mètre cube de corroi. Avec ces précautions, d'après M. Vallée, on obtient, après battage et dessication, un remblai tellement dur que le pic est nécessaire pour y creuser une fouille, et que l'on éprouve, pour se servir de cet instrument, autant de difficulté que dans les terres vierges qui, par leur nature, se rapprochent le plus du rocher.

Toujours d'après le même ingénieur, on pourrait se dispenser de construire toute la digue en corroi; il suffirait, avec un revêtement soigné, de corroyer la moitié d'amont. On n'a pas agi ainsi à Mittersheim où tout le massif a reçu cette préparation. C'est, suivant nous, une grande garantie, car, sous l'action

des pressions engendrées par le poids des terres et de l'eau soutenue, une homogénéité complète du système est une protection contre les tassements inégaux. Or, les tassements inégaux font naître les fissures; et ces dernières, dans une digue en terre, sont ce que l'on doit le plus redouter; elles donnent lieu à des entraînements de matière qui peuvent, en quelques heures, aboutir à des désastres. La question de prix peut donc seule arrêter en pareil cas.

742. Inconvénients des terres trop argileuses. — Les terres très argileuses doivent être évitées. Au réservoir de Cercey (canal de Bourgogne), la digue, commencée avec un talus de 2 1/4 vers l'intérieur et de 1 1/2 à l'extérieur, a éprouvé des glissements lorsque les remblais, qui devaient s'élever à $12^m,80$, n'avaient encore que 7 mètres de hauteur. Plus tard, quoique l'on eût porté le talus extérieurement à 2 pour 1, un nouvel éboulement a eu lieu extérieurement, lorsque le réservoir était aux 3/4 plein. Enfin la brèche réparée et consolidée s'est encore affaissée au niveau de la retenue, quoique le talus eût été porté à 2,3 pour 1 et armé de contreforts.

Cependant, il n'est pas impossible de se servir de ces terres. M. Bazin rapporte (*Annales* de septembre 1880) que la digue du réservoir de Panthier a été relevée, de 1867 à 1873, avec ces mêmes argiles et a passé d'une hauteur de $7^m,60$ à celle de $13^m,60$. Des soins spéciaux ont été pris pour que l'état hygrométrique des terres employées fût toujours le même. Le massif de remblai a été protégé contre l'action des agents atmosphériques sur les deux talus et sur le couronnement; enfin, des cloisons en maçonnerie, établies suivant la ligne de plus grande pente, et espacées de 40 à 60 mètres, s'enfoncent dans le corps de la digue jusqu'au-dessous de la surface inférieure des glissements. Elles sont destinées à empêcher la propagation en long des affaissements qui viendraient à se produire sur le talus intérieur, par l'effet de l'imbibition et sont imitées de ce qui a été fait à l'étang de Torcy en 1836. (Voir *Annales* de 1846, 1er semestre. Notice de M. Comoy.) La digue de Panthier a été mise en charge d'une façon progressive de 1875 à 1876; et, depuis cette époque, elle n'a donné, à notre

connaissance au moins, aucun signe de souffrance. On peut espérer qu'il en sera toujours de même.

Au réservoir de Paroy, sur le canal de la Marne au Rhin (voir *Annales des Ponts et Chaussées*, février 1880. Notice de M. l'ingénieur en chef Picard), à défaut de terre argilo-sablonneuse, on n'a exécuté en corroi que la partie antérieure de la digue sur une épaisseur moyenne de $2^{m},50$. Le surplus a été constitué avec des marnes très saines, empruntées aux coteaux voisins. Il est juste de dire que la retenue de Paroy n'a que $5^{m},55$ de hauteur, et exige moins impérieusement les précautions minutieuses dont nous avons parlé plus haut.

743. Profil de la digue. — Le profil général à donner aux digues en terre a varié d'une façon assez notable. Voici le profil qui semble aujourd'hui réunir le plus de suffrages.

Du côté d'amont, une inclinaison générale de 1 de hauteur pour 1,50 de base, dessinée tantôt par un plan incliné tantôt par des gradins, suivant que la hauteur de la retenue nécessite un revêtement composé d'éléments plus ou moins solidaires les uns des autres.

Du côté d'aval, une succession de surfaces inclinées, raccordées par des banquettes horizontales de 2 mètres, lesquelles sont espacées verticalement de 3 à 4 mètres. L'inclinaison des talus qui rejoignent ces banquettes n'est pas uniforme; la partie supérieure a 1,50 de base pour 1 de hauteur, l'assise suivante 2 de base, la suivante 2,5, et ainsi de suite en croissant jusqu'au sol naturel. La progression que nous venons d'indiquer n'a, d'ailleurs, rien d'obligatoire, et peut varier avec la cohésion des terres employées. Le but à atteindre est de se rapprocher du talus que prennent les terres abandonnées à elles-mêmes.

On a donc, en somme, un cube de remblais compris entre une ligne d'amont inclinée à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur, et, à l'aval, une ligne courbe qui tourne sa convexité avec le remblai, et dont la tangente supérieure a, avec la verticale, la même inclinaison que la ligne d'amont.

744. Revêtements des talus. — Examinons maintenant comment peuvent être revêtus les talus, pour éviter les accidents.

Les digues sont exposées, ainsi que nous l'avons déjà dit, au choc de lames d'autant plus fortes que le bassin est plus profond, et le barrage plus exposé aux vents violents. Au moment des débâcles, l'action des lames s'aggrave de celle des glaçons flottants, de telle sorte que le revêtement, quel qu'il soit, peut être battu en brèche, tantôt par des projections d'eau qui le pénètrent et tendent à l'affouiller, tantôt par le choc de masses pesantes qui tendent à le renverser.

745. Talus d'amont. — Tant que la profondeur est peu considérable (4 à 5 mètres) si les vents violents ne poussent pas à la digue, et si celle-ci est constituée de bonnes terres, on peut se contenter de perrés ordinaires, comme on l'a fait aux étangs de Baye et de Vaux (canal du Nivernais) et à plusieurs étangs du canal du Centre. On donne à ces perrés $0^m,50$ d'épaisseur horizontale dans le haut, $9^m,80$ dans le bas; on assied leur pied bien solidement et on les place sur une couche de pierre cassée et de gravier ou de sable, de $0^m,10$ au moins d'épaisseur. Ce tapis perméable fait perdre au clapotis sa force affouillante, lorsqu'il traverse le perré, et empêche, quand l'eau ressort, que les terres soient entraînées. Le revêtement constitue ainsi une sorte de filtre qui amortit le double effet destructeur, mais qui a le tort d'être solidaire sur toute l'étendue de la digue, ce qui rend les réparations fort difficiles. Il n'y a donc lieu d'user de ce mode que quand les circonstances sont tout à fait favorables.

Quand la profondeur augmente, ou quand la disposition des lieux fait craindre quelques avaries locales, on a recours aux perrés à gradins et à zones indépendantes, c'est-à-dire que l'on fractionne l'inclinaison générale en assises d'environ 2 mètres de hauteur, dans chacune desquelles on place la fondation en retraite sur le couronnement de l'assise inférieure; les avaries qui atteignent une assise peuvent alors, avec une banquette suffisante, ne compromettre qu'elle. M. Vallée conseille, en pareil cas, de conduire les maçonneries sèches par gradins ho-

rizontaux, parce que, dit-il, la maçonnerie ainsi faite est toujours mieux exécutée par les ouvriers. Cette observation peut être exacte; mais, d'autre part, le moellon placé perpendiculairement à la paroi est dans une position plus stable; il n'oppose pas de saillie à la lame qui le frappe, et risque moins, par suite, d'être arraché. Il est vrai qu'il la brise moins, mais cet effet spécial d'amortissement du choc ne peut être obtenu qu'avec de la maçonnerie, ou, si l'on dispose de moellons à très longue queue, qui soient ainsi solidement encastrés dans le perré. Là où cette condition n'est pas remplie, c'est-à-dire dans le cas général, c'est par la masse de la digue qu'il convient de résister, en plaçant chaque moellon dans le sens qui convient le mieux à sa bonne assiette, et en s'efforçant, d'ailleurs, d'obtenir des ouvriers la meilleure exécution possible.

Enfin, lorsque la retenue assigne à l'étang de grandes profondeurs, lorsque surtout il est enfilé par les vents violents poussant à la digue, la difficulté devient grande. Les chocs redoutables que subit le parement exigent l'emploi de la maçonnerie, tandis que la grande étendue de ce parement exclut l'emploi d'une cuirasse rigide sous laquelle une avarie demeurerait inconnue, jusqu'au jour où elle serait devenue assez forte pour se révéler par un accident inquiétant.

Voici comment la question a été résolue au canal du Centre, d'abord par M. Vallée en 1830, à l'étang Berthaud, et ensuite en 1859 par M. Duverger, au réservoir de Montaubry. D'autres applications du système ont été réalisées depuis, à Mittersheim, à Panthier et au Paroy. (Voir les *Annales des Ponts et Chaussées*. — Notices déjà citées: M. Vallée 1831, 1er semestre; M. Comoy, 1846, 1er semestre; M. Hirsch, mars 1869; M. Bazin, septembre 1880; M. Picard, février 1880.) Un succès complet a d'ailleurs consacré la valeur de la méthode, en sorte que le procédé est entré dans la pratique.

746. Revêtement de Montaubry. — Au réservoir de Montaubry, que nous prendrons pour type à ce point de vue, le revêtement a été composé d'une succession de petits murs en maçonnerie, indépendants les uns des autres, ayant un pare-

ment d'amont incliné à 0m,60 de base pour 0m,80 de hauteur, et pour parement d'aval un plan vertical laissant au mur une épaisseur de 0m,30 au sommet, de 0m,90 à la base. Cette base est supportée par une fondation spéciale, de 0m,90 de largeur comme le mur, et de 0m,40 de profondeur.

Deux murs successifs sont placés à 1m,50 de distance horizontale l'un de l'autre, et à 1 mètre de distance verticale. Ils jalonnent ainsi une inclinaison générale à 1,50 pour 1, que l'on a, pour plus de sûreté, interrompue par deux banquettes de 2 mètres partageant le talus en trois parties égales.

La tête de chacun de ces murs, placée à 0m,20 au-dessous du pied de celui qui le précède, et distante (sauf à l'emplacement des banquettes) de 0,90 de ce pied, lui est rattachée par une chape en béton hydraulique bien pilonné.

Enfin le dernier mur, à la partie inférieure, est solidement fondé sur un massif maçonné de 2 mètres de largeur, pénétrant jusqu'au sol solide, et formant ainsi, au pied de l'ouvrage, à la fois un support et un barrage pour les eaux souterraines.

De cet ensemble résulte une succession de massifs maçonnés, dont chacun est suffisant pour résister aux efforts qu'il doit supporter, tandis que leur liaison n'est pas assez rigide pour qu'un très léger mouvement relatif ne puisse se produire, s'il est commandé par des variations hygrométriques des terres, par des actions de dilatation ou de contraction des maçonneries, ou même par des tassements partiels qu'on doit toujours prévoir en s'efforçant de les éviter.

747. Revêtement de Mittersheim. — Au réservoir de Mittersheim, la méthode suivie diffère un peu de celle qui vient d'être exposée, en ce que les murettes à paroi intérieure verticale ont été remplacées par des perrés maçonnés, dont la face vue, haute de $2^m,50$ et ayant 2 mètres de base, recouvre une maçonnerie inclinée épaisse de $0^m,50$ en haut et de $0^m,70$ en bas. Chacun de ces gradins est à 5 mètres de celui qui le précède, et la plate-forme qui les réunit, de $0^m,30$ d'épaisseur, est formée d'un béton recouvert d'un pavage.

Ici, on le voit, le parement se compose de perrés inclinés qui s'étagent, et non d'une succession de murs véritables et de plate-formes. Le principe n'est pas serré d'aussi près ; mais il est juste de dire que l'étang de Montaubry a 17 mètres de profondeur et est orienté O. et E., tandis que l'étang de Mittersheim n'a que 8 mètres de profondeur et s'oriente N. et S.

748. Revêtement de Panthier. — Au réservoir de Panthier, la disposition n'est pas tout à fait la même ; chaque perré a $2^m,70$ de hauteur pour 3,60 de base, et les plate-formes qui les réunissent ont 3 mètres de base pour $0^m,45$ de hauteur ; l'inclinaison générale est donc de $3^m,15$ pour $6^m,70$ ou d'à peu près 2 pour 1, ce qui ne doit pas surprendre si l'on se rappelle que les remblais y sont formés de terres argileuses.

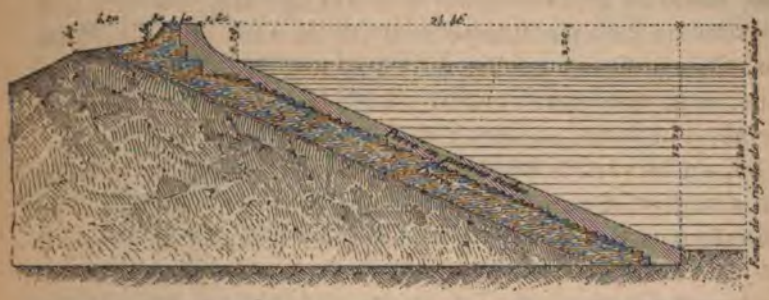
749. Revêtement de Paroy. — Enfin, au Paroy, les perrés ont $1^m,45$ de base pour $1^m,75$ de hauteur, et sont séparés par des plate-formes de 2,20 sur 0,50. Leur épaisseur est 0,30 en tête et 0,55 au pied. Ils sont posés sur corroi.

Ces trois derniers exemples accusent ainsi un retour aux revêtements primitifs de M. Vallée, mais sans infirmer le principe des gradins indépendants posé par lui, et consacré par l'expérience.

750. Position du parapet. — Le parapet maçonné de 1 mètre de hauteur, qui termine le parement d'amont, a été posé de diverses manières.

Au canal du Centre, on l'a généralement placé en arrière du parement, à l'extrémité d'une plate-forme plus large que les autres.

A Cercey (canal de Bourgogne) le parapet était formé par un relèvement de la digue en doucine, faisant suite au parement très incliné du côté de l'eau.



A Mittersheim, il a été établi immédiatement au-dessus du parement d'amont, qu'il termine verticalement ; il en a été de même au Paroy ; mais à Panthier, on a fait retour à une disposition intermédiaire, le couronnement de 6m,70 de largeur étant partagé par le parapet en deux parties inégales, dont l'une, vers l'amont, a 2 mètres, tandis que l'autre a 4m,10.

Ces dispositions diverses n'ont pas une grande importance au point de vue de la résistance offerte par le profil ; néanmoins, en ce qui nous concerne, nous serions porté à donner la préférence à celle qui laisse au couronnement le plus large développement libre possible. En cas de tempêtes ou d'avaries, il convient de se réserver de l'espace pour l'approche des matériaux, pour le développement du chantier, etc., et il est préférable de ne pas avoir à passer sur les maçonneries. Le parapet serait donc mieux à sa place vers l'amont, dût sa fondation être un peu plus profonde.

751. Chaussée en couronne. — En arrière du parapet, si l'on adopte cette manière de faire, régnera le véritable couronnement formant chemin. La chaussée y sera soigneusement drainée, afin que les eaux pluviales qui pourraient la traverser ne séjournent pas sur les remblais.

752. Talus d'aval. — Quant au talus d'aval, on peut se borner à le gazonner ; mais il est bon de prendre la précaution, comme à Mittersheim, de drainer énergiquement son parement,

jusqu'à $1^m,20$ de profondeur, afin d'éviter tout ramollissement du corroi : « Il est aussi important, dit très justement M. Hirsch, de donner un libre écoulement aux filtrations qui pourraient se produire, que d'en empêcher l'introduction dans le corps de la digue. La partie postérieure du remblai est ainsi partagée par ces drains, en contreforts parfaitement assainis et compacts qui soutiennent, contre la poussée de l'eau, la partie antérieure formant cloison étanche. »

La preuve de l'utilité de ce drainage, c'est que, dans les temps humides, ils fournissent un certain débit provenant de la pluie qui mouille le talus et la chaussée. Or, cette eau qu'ils écoulent ne pourrait avoir qu'un mauvais effet, et il est bon de s'en débarrasser, alors même que, comme à Mittersheim, le corps de la digue est parfaitement étanche.

753. Soins à donner au remblai. — Mais, pour obtenir cette étanchéité, le remblai doit être confectionné avec des soins spéciaux que nous allons faire connaître.

Tout d'abord, on enlève du sol toute terre vaseuse, tourbeuse ou même argileuse, si on la juge susceptible de tassement. Il est évident, en effet, que la fondation doit être au moins aussi solide que le remblai qui va la presser. A Mittersheim, on est descendu jusqu'aux couches parfaitement imperméables des marnes irisées, tandis qu'au réservoir de Montaubry, on a été jusqu'au rocher, à 5 mètres de profondeur au-dessous du fond de l'étang, sur la moitié amont de la fondation de la digue. On y a même placé des clés en corroi qui pénètrent dans le rocher. Quant à la moitié aval de cette même digue, elle a été établie sur le sol naturel, purgé de toute partie meuble et de toute trace de végétation, afin de se relier bien intimement au remblai.

Au réservoir du Paroy, où la retenue était moins haute, on a cependant enlevé toutes les couches qui offraient une dépression sensible sous une charge de 2 k. 60 par centimètre carré. Au réservoir de Panthier, où le remblai était en argile, on s'est contenté de déblayer le terrain naturel à 1 mètre de profondeur, et d'y pratiquer des clés d'enracinement longitudinales de 2 mètres de largeur et de 1 mètre de hauteur. En

avant, il est vrai, on a descendu un mur de garde, traversant tous les terrains détritiques et s'encastrant de 0m,50 dans la marne dure.

Ces diverses manières de faire peuvent se résumer, croyons-nous, en disant que le terrain sur lequel s'assied l'ouvrage doit avoir une résistance au moins égale à celle des couches qui doivent le presser.

754. Régalage et trituration du corroi. — Sur la fondation ainsi préparée, le sable argileux est régalé par couches bien émiettées de 8 à 10 centimètres d'épaisseur. Suivant son état hygrométrique, on y met ou de la chaux en poudre ou du lait de chaux, en ayant soin que la quantité de liquide soit strictement suffisante pour donner un peu de liant, le moins est le mieux. On fait passer sur chaque couche un rouleau corroyeur formé de deux séries de disques en fonte, montés sur deux axes parallèles, de telle façon que les pleins de la première série correspondent aux vides de la seconde, et réciproquement. Cette disposition a pour but d'éviter l'engorgement du rouleau par les terres écrasées.

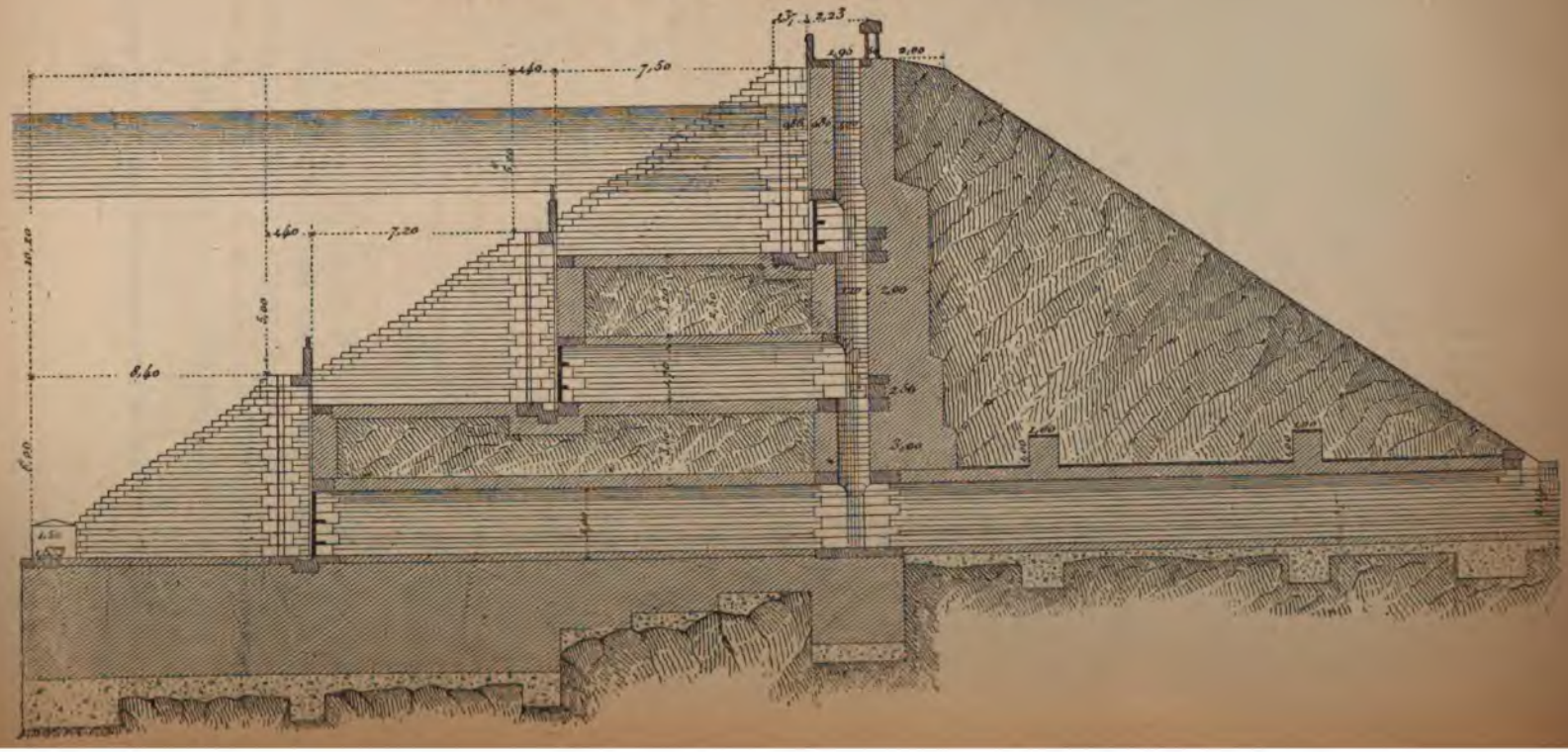
A Mittersheim, les disques étaient au nombre de onze, ils avaient 0m,55 de diamètre, 0m,05 d'épaisseur et étaient espacés de 0m,11 de milieu en milieu. Les deux axes parallèles qui les supportaient étaient distants de 0m,42, de telle sorte qu'il y avait croisement sur 0m,13. Le poids de l'appareil était de 1,200 kilos et une surcharge de 900 kilos l'élevait à 2,100. Il fallait de quatre à six chevaux pour le traîner, et, après environ douze passages, la couche de corroi, réduite au tiers de son épaisseur, était parfaitement liée et avait coûté 0 f. 21 par mètre cube.

Le rouleau employé au Paroy était à peu près identique au précédent, sauf qu'un cadre circulaire en fer permettait de faire tourner l'attelage et de changer ainsi plus facilement le sens de la marche. Il était attelé de quatre chevaux, et on le faisait passer quatre fois en le chargeant de plus en plus. Le prix du corroyage, dans ces conditions, était d'environ 0 fr. 07 par mètre cube.

A Panthier, où l'on se servait d'argile, on commençait par

PRISE D'EAU DE MONTAUBRY.

Coupe transversale de la digue suivant l'axe des aqueducs de prise d'eau.



écraser les terres à l'aide de rouleaux à surface lisse du poids de 7 à 800 kilos, que l'on promenait à deux ou trois reprises sur la couche à pilonner, puis, on faisait passer un rouleau à cannelures rectangulaires du poids de 12 à 1.500 kilos lequel, après cinq ou six passages, ne laissait plus qu'une légère empreinte sur la surface du remblai. Le corroyage coûtait alors environ 0 fr. 22 par mètre cube.

Le long des ouvrages d'art, et sur les parties que ne peut atteindre le rouleau corroyeur, on bat les remblais avec une dame en fonte, de forme sphérique, et du poids de 17 à 18 kil.

Les couches, ainsi superposées, sont établies sur une surface un peu plus grande que celle que doit occuper la digue, du côté d'amont au moins. On déblaie ensuite cet excès, auquel on a donné environ $0^m,80$, pour que la place qu'occuperont les murs soit taillée dans la partie parfaitement corroyée, et on serre énergiquement la maçonnerie contre le déblai, sans laisser aux agents atmosphériques le temps d'agir sur le corroi mis à nu.

Avec ces précautions, qu'il est sage de ne jamais négliger, avec des fondations soigneusement étudiées et bien reliées au corroi, on a toute chance de voir les digues en terre aller en se consolidant d'elles-mêmes par le durcissement, et laisser en parfaite sécurité les intérêts qu'elles abritent.

755. Ouvrages accessoires. — Ainsi composée dans son ensemble, la digue doit être munie d'ouvrages accessoires qui en assurent l'utilisation et l'entretien. Ces ouvrages sont :

Une prise d'eau pour permettre les emprunts en vue desquels la retenue a été créé.

Une bonde de fond pour mettre l'étang à sec, en cas de réparations à faire aux fondations.

Des bassins de décantation qui reçoivent les troubles des affluents, et maintiennent ainsi la capacité du réservoir, en diminuant les envasements.

Un déversoir qui laisse passer le trop-plein de la retenue, quand besoin est.

Passons en revue successivement chacun de ces ouvrages.

756. Prise d'eau de Montaubry. — Le premier type que nous examinerons est celui du réservoir de Montaubry. On y a superposé verticalement et sur une même fondation, les divers orifices d'écoulement qui doivent servir aux emprunts demandés à la réserve, et à la vidange complète du réservoir, le cas échéant.

On a placé au centre de la digue un puits vertical en maçonnerie de $1^m,10$ de diamètre, et de toute la profondeur de l'étang. Ce puits, solidement fondé et construit en bonne maçonnerie, communique vers l'aval avec un aqueduc voûté, de 1 mètre de largeur et de 2 mètres de hauteur, placé à sa partie inférieure. Vers l'amont, la paroi du même puits est percée de trois ouvertures dont l'une est à 5 mètres au-dessous du couronnement, la seconde à 10 mètres et la troisième en face de l'aqueduc d'évacuation dont nous venons de parler. La seconde ouverture et la dernière sont prolongées par des aqueducs ; ces aqueducs eux-mêmes sont terminés par des murs en aile, dans lesquels une rainure permet d'établir des poutrelles pour former bâtardeau. La tête amont de chaque aqueduc est garnie d'un cadre en charpente dans lequel est ménagé un orifice de $0^m,60$ sur $0^m,30$, que ferme une vanne manœuvrée de la plate-forme immédiatement supérieure.

Grâce à ces dispositions, on peut, en ouvrant la vanne supérieure, effectuer un premier emprunt d'une tranche d'eau de 5 mètres. On passe à la seconde tranche lorsque la plate-forme, découverte, permet d'ouvrir la seconde vanne ; et, après l'épuisement de cette deuxième tranche, la bonde de fond devient accessible, sans qu'on ait jamais eu à manœuvrer les vannes sous une pression d'eau supérieure à 6 mètres.

Si quelque circonstance imprévue nécessite l'arrêt de l'écoulement, on a la ressource des poutrelles pour suppléer, en cas de besoin, à l'insuffisance des vannes, en sorte que les réparations possibles sont assurées à un moment quelconque.

On a soin, d'ailleurs, en barrant partiellement l'issue de l'aqueduc de décharge, de laisser un matelas d'eau dans les puits, pour diminuer le choc résultant de la masse liquide qui provient des aqueducs supérieurs. Inutile de dire que la maçonnerie de ce puits ne saurait être trop soignée, pour

résister à l'action des eaux animées d'une grande vitesse qui en frappent la paroi.

Quant au troisième aqueduc, il remplit le rôle de bonde de fond, et sert à la vidange du réservoir en même temps qu'à l'entraînement des vases qui se déposent toujours au pied de la digue, dans les parties profondes.

Ces dispositions présentent une solution complète de la question. L'écoulement des eaux est concentré sur un point unique, où les difficultés sont vaincues par un ouvrage d'un grand relief, il est vrai, mais qui n'exige qu'une seule fondation, laquelle est même relativement d'une faible étendue. Le type de Montaubry s'applique donc avantageusement aux vallées à versants argileux, pourvu qu'elles offrent à l'ouvrage central une assiette parfaitement sûre.

Avec des versants où le rocher serait plus près de la surface qu'il ne l'est aux environs du thalweg, ce type aurait moins sa raison d'être, et les divers orifices d'écoulement pourraient être plus rationnellement répartis à des hauteurs diverses, à flanc de coteau, chacun avec sa fondation séparée et ses ouvrages spéciaux. La construction peut alors être plus économique en disséminant les ouvrages qu'en les groupant, et c'est, au point de vue de la dépense, une comparaison à faire dans chaque cas particulier.

Au point de vue de la sécurité et de la facilité des manœuvres, il y a avantage évident à cette seconde manière de faire.

On sait, en effet, que les filtrations sont d'autant plus à craindre que les surfaces de jonction des maçonneries et des remblais sont plus considérables, surtout quand ces surfaces sont verticales. Or, avec un grand ouvrage, unique, au point le plus haut de la digue, il y a, quoi qu'on fasse, de grands joints verticaux, le long desquels des mouvements de terrain peuvent se produire et des glissements se propager. Il est alors plus sage, si le terrain s'y prête, comme au réservoir de Panthier, de reporter les prises d'eau sur un emplacement choisi au point de vue de l'assiette de l'ouvrage et de la facilité des manœuvres. A plus forte raison en serait-il ainsi, si le thalweg ne présentait que des fondations incertaines.

257. Prise d'eau d
thier, où la digue devai
a conservé, comme b
vanne de vidange, et l'
prise d'eau sur le cote
seulement de l'origin
maison du garde. Là,
truction, moitié en
garantie contre les a

M. Bazin fait re
bonde de fond se n
rieures sont const
Ce sont ces dern
ment, d'abord
réservoir d'une
par la forme
trouve à la pa
de Panthier,
7m,50 au-des
supérieure à
le volume in
1.000.000
assurer da
supérieur
de fond s
sible l'h

C'est
pose de
1 mètr
réserv
c'est
une
pre
la
to
d
ta
g

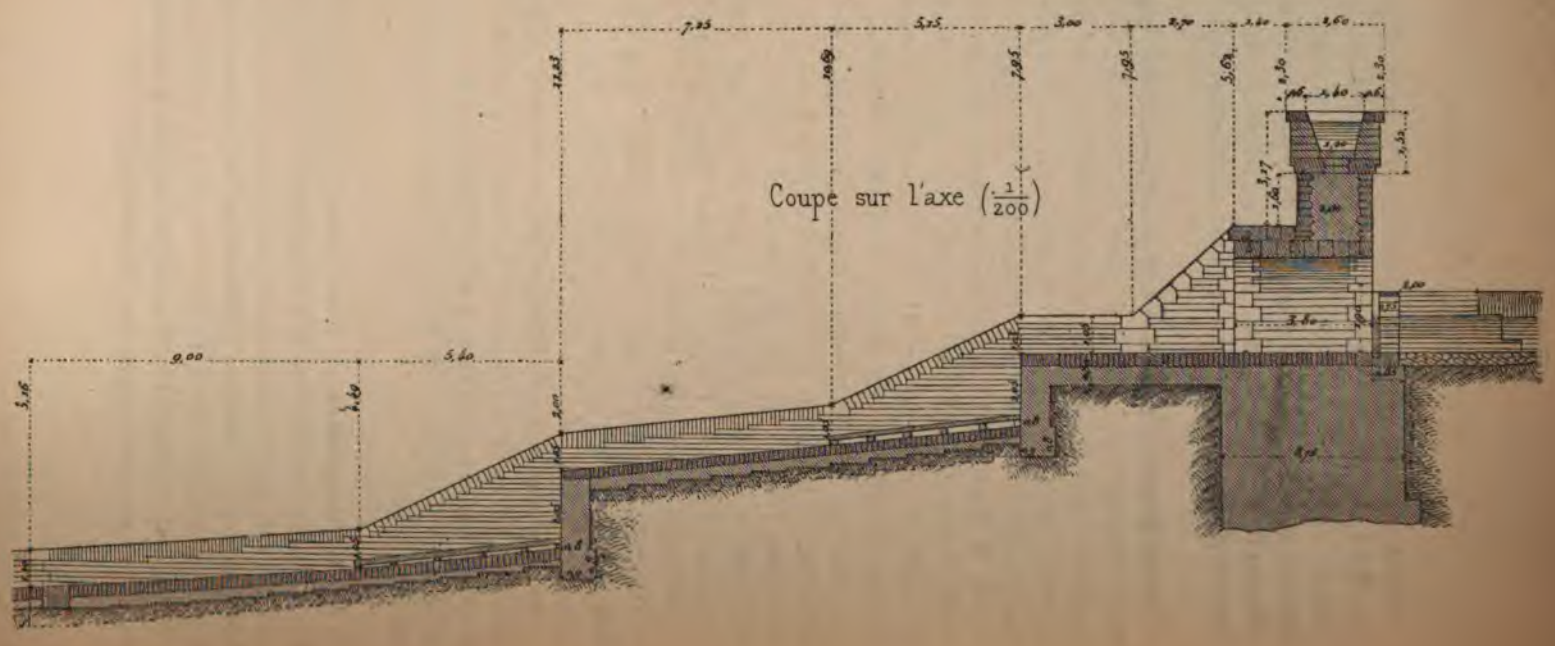
758. Prise d'eau du Paroy. — Au Paroy, où la retenue n'a que 5,55, l'ouvrage de prise d'eau pouvait être beaucoup plus simple, et l'est en effet. La prise d'eau et la vidange se pratiquent à l'aide de deux aqueducs dallots juxtaposés, qui ont chacun $0^m,60$ d'ouverture et $1^m,20$ de hauteur. Ils sont réunis avec le déversoir, dont nous nous occuperons tout à l'heure.

759. Bassins de décantation et fossés de ceinture. — Les ruisseaux qui tombent dans le réservoir, et qui l'alimentent, entraînent généralement avec eux de nombreuses matières en suspension qui se déposent en arrivant dans les eaux calmes, et diminuent notablement la capacité des réservoirs ; M. Comoy cite notamment plusieurs étangs du canal du Centre (*Annales*, 1841, 1er semestre) qui ont été complètement ensablés de cette façon. Il est impossible d'empêcher cet entraînement, mais on peut en diminuer les fâcheux effets en plaçant, sur chaque ruisseau, à quelque distance des eaux du réservoir, un bassin de décantation dans lequel s'arrêteront au moins les plus grosses des matières charriées. On en retirera plus facilement ces dépôts que si l'on était obligé de les draguer au fond de l'étang, en même temps qu'on conservera à ce dernier sa capacité utile.

Lorsque, d'ailleurs, les eaux de source sont assez abondantes pour que l'on puisse renoncer aux eaux d'orage, ou quand on a intérêt à ne pas laisser troubler outre mesure le réservoir, on entoure l'étang d'un fossé de ceinture qui recueille les eaux sauvages et les écoule en dehors du réservoir. Ce procédé, recommandé dès 1833 par M. Vallée, a été appliqué au réservoir de Rochetaillée près de Saint-Étienne, sur le Furens.

760. Déversoirs. — Il est indispensable que, en dehors des emprunts nécessités par la navigation, les eaux surabondantes, qui proviennent d'une pluie exceptionnelle ou d'une fonte de neige, puissent s'écouler sans surélever notablement le niveau de la retenue, et, par cela même, sortir la digue des conditions de hauteur en vue desquelles elle a été établie. On a recours alors à l'emploi des déversoirs.

DÉVERSOIR DU TILLOT



Ces déversoirs se placent, autant que possible, le long d'un des versants, afin que la chute des eaux soit faible, et les fondations faciles. On en arase la crête au niveau qui a été assigné à la retenue, et la largeur est déterminée par cette condition que la surélévation qui résultera du débit maximum des affluents n'excède pas les plus hautes eaux possibles de l'étang. La planche de la page 314 montre les dispositions adoptées au réservoir du Tillot (canal de Bourgogne), où la pente est rachetée par des gradins suivis de plans inclinés.

Au réservoir de Panthier, où l'expérience faite sur l'ancienne retenue avait montré qu'une largeur de 4 m. de déversoir était suffisante, on n'a pas jugé utile, pour ce faible débit, de construire un ouvrage spécial, et le déversement s'opère dans le puits qui sert aux prises d'eau. Pour remplir plus sûrement cette destination, ce puits a reçu un contour demi-cylindrique dont le diamètre a été précisément fixé à 4 mètres.

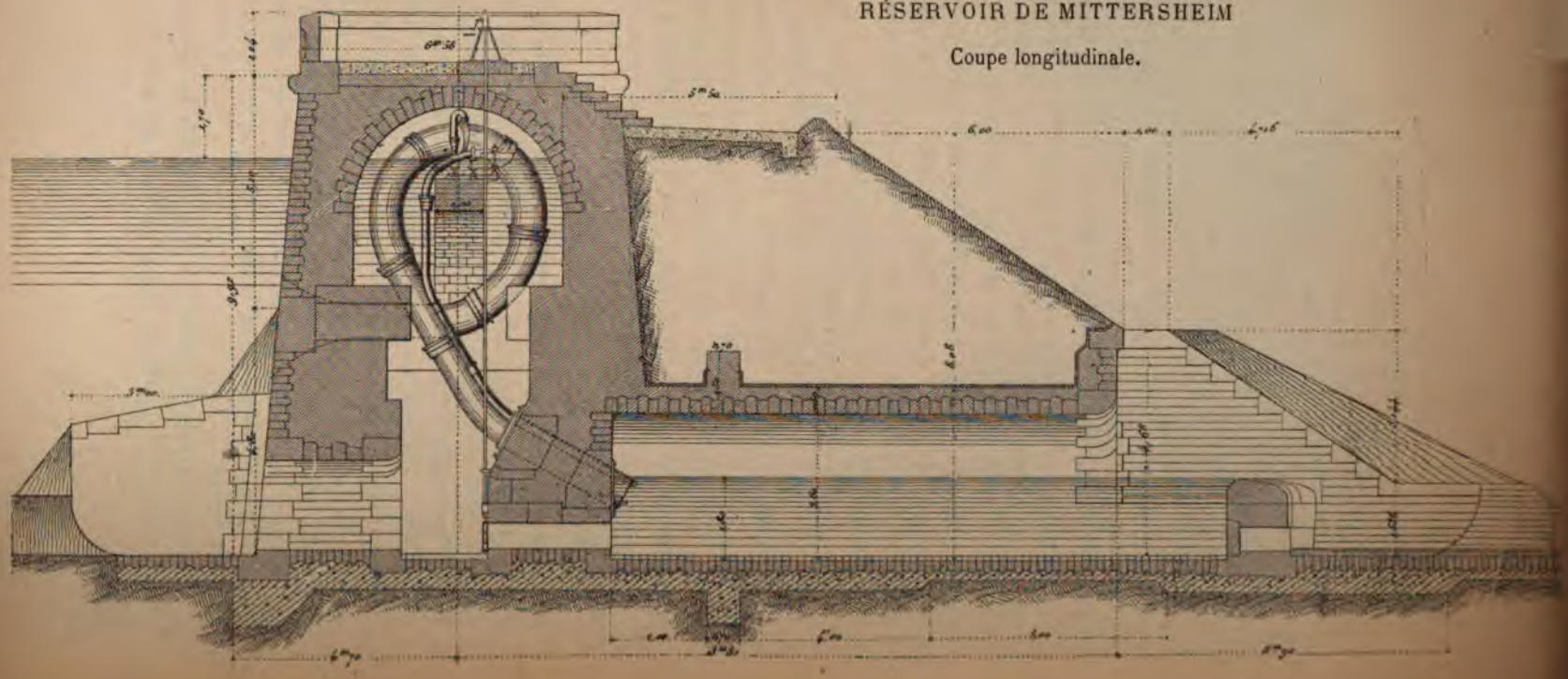
A Paroy, on a également réuni le déversoir à la bonde de fond ; toutefois, pour diminuer la superficie des fondations, tout en agrandissant la longueur de la lame déversante, M. Picard a eu l'heureuse idée de lui donner une forme demi-circulaire de $6^m,20$ de rayon. La chute de $5^m,80$ est partagée en deux parties par un large gradin, sur lequel un petit mur maintient un matelas d'eau destiné à amortir le choc de la lame déversante.

761. Déversoir-siphon de Mittersheim. — On remarquera que tous ces déversoirs de superficie ont besoin, pour produire un effet puissant, ou d'avoir une très grande longueur ou d'être surmontés d'une lame épaisse. La grande longueur est une sujétion difficile à accepter ; quant à l'autre solution, le niveau supérieur étant donné, elle réduit le niveau normal et par suite la retenue, précisément dans sa partie la plus avantageuse. On aurait évidemment bénéfice à prendre pour niveau normal le niveau maximum, et à ouvrir aux eaux surabondantes un passage assez large pour que ce maximum demeure respecté.

Ce résultat pourrait s'obtenir en plaçant, sur le déversoir, un vannage dont on ouvrirait les orifices, à mesure que les

RÉSERVOIR DE MITTERSHEIM

Coupe longitudinale.



exigences de l'écoulement se feraient sentir. Ce procédé, toutefois, implique l'intervention constante d'un gardien, et une inexactitude ou une imprudence pourraient avoir de fâcheuses conséquences.

On pourrait encore placer sur le déversoir des vannes automobiles, qui s'abattraient à partir d'un niveau donné ; mais on sait que les appareils automobiles ne sont pas toujours sûrs. Il serait difficile de conseiller leur emploi dans des lieux généralement assez écartés, où les réparations à effectuer ne trouvent pas d'ouvrier à portée, et où une inaction plus ou moins longue peut avoir paralysé les mécanismes.

Une solution infiniment supérieure a été fournie au réservoir de Mittersheim, dont nous avons déjà parlé, par l'emploi d'un déversoir-siphon. En effet, le siphon, une fois amorcé, débite dès le principe toute l'eau que comportent son diamètre et sa pente ; si l'on a le soin de le choisir assez large pour que, avec la chute dont on dispose, il laisse échapper toute l'eau affluente au réservoir, il n'y a aucune raison pour que le niveau monte. Le problème réside tout entier dans la manière d'amorcer ou de désamorcer le siphon quand besoin est. Cette difficulté a été résolue de la façon la plus heureuse par M. Hirsch (*Annales* de mars 1869.)

M. Hirsch a placé, à côté du gros siphon qui a $0^m,70$ de diamètre, un autre tube large de $0^m,15$, dont l'ouverture d'amont débouche dans l'étang par un élargissement appelé tête. Ce second tuyau ne siphonne pas ; il est établi au niveau maximum.

La tête de ce petit tuyau est armée de deux lèvres, dont l'une, la lèvre inférieure, est précisément au niveau réglementaire de la retenue, tandis que la lèvre supérieure est à 5 millimètres au-dessus. Les deux tuyaux communiquent par leur partie supérieure, tandis que leur partie inférieure est constamment noyée dans le puisard d'évacuation des eaux.

Lorsque le niveau de l'étang dépasse la lèvre inférieure de l'amorceur, le petit tuyau donne, et, dès que l'étang a monté de cinq millimètres, la lèvre supérieure est noyée à son tour. A ce moment, l'écoulement qui s'effectue par le petit tuyau aspire par son passage l'air placé dans la partie supérieure

pilonnés par couches de six pouces

genre, d'après les ingénieurs anglais, re d'orifices d'écoulement. Aqueducs vent aboutir à un puits intérieur où se œuvre, et s'établir sur l'un des ver- lieu des terrains résistants, en tunnel r les terrains meubles qui sont, en eux vaut, en pareil cas, sacrifier la l'aqueduc à 25 pieds au-dessus du voir, dût-on vider celui-ci, si la chose un siphon.

servoir de Bradfield. — Ces di- nt loin d'avoir toutes été prises au stiné à l'approvisionnement de la ville

gile corroyée, de 27 à 28 mètres de d de la vallée et pénétrant sur cer- squ'à 18 mètres de profondeur, était de 5 mètres à 5m,50 de largeur à la ur au sommet.
els établis de chaque côté de cette té empruntés au sol de la vallée et s sur le talus d'amont, comme sur nte de 2 1/2 pour 1, ils avaient été, agon.
au sommet était de 3m,66; la lon-

fectuaient au moyen de deux longs la digue à son point le plus bas errain naturel), sur 150 mètres de ux étaient environnés d'argile sur ient nécessairement les tassements sse.
au corroi, sans l'intermédiaire de nfermant une grande quantité de ez imperméables dans leur partie

du siphon ; l'eau y monte, et le siphon s'amorce de lui-même. Lorsque l'écoulement a suffisamment abaissé le niveau de l'étang pour que la tête de l'amorceur reparaisse et laisse émerger la lèvre supérieure, l'air rentre par la petite conduite et se loge dans la partie supérieure de la grosse ; l'écoulement cesse à ce moment.

Ainsi, tant que le niveau réglementaire n'est pas dépassé, l'appareil reste étanche. Dès que ce niveau est dépassé d'une manière appréciable, le siphon fonctionne avec toute sa puissance (3^{m},30 par seconde) ; et, entre ces deux limites très rapprochées, il débite un mélange d'air et d'eau. Le système fonctionne donc de lui-même, d'une manière aussi simple que sûre.

Pour débiter les 6^{m},50 que peuvent donner, au maximum, les affluents de l'étang, on a juxtaposé deux siphons munis de leur amorceur. On en a, de plus, évasé la tête pour éviter la contraction. Enfin, on a placé entre les lèvres de l'amorceur une vannette qui donne une facilité de plus pour régler le débit, de telle sorte que l'appareil a toute la précision désirable.

Le siphon a reçu une disposition contournée qui lui permet de diriger l'eau par un rayon de courbure de 1^{m},44, et dont la forme circulaire diminue les effets considérables de la force centrifuge, ou du moins permet mieux d'y résister.

Tout le système est enfermé dans un puisard qui le maintient à l'abri des vagues, des corps flottants et des gelées ; et divers organes permettent de modifier comme on le veut, d'interrompre même, le cas échéant, le mouvement des eaux.

762. Soins spéciaux à la jonction des maçonneries et du terrain. — Disons enfin que prise d'eau, bonde de fond ou déversoir, tous les ouvrages accessoires dont nous venons de parler s'établissent avant que la digue soit fondée, et exigent une fondation inébranlable. Renouvelons, en outre, vu son importance, une observation déjà faite, à savoir que le danger est à la jonction des maçonneries et des remblais et que les précautions les plus minutieuses doivent être prises pour que le pilonnage dans les angles soit irréprochable.

Nous n'avons cité, dans tout ce qui précède, que des ouvrages français ; c'est qu'en effet le procédé suivi en France nous semble présenter les meilleures conditions pour répondre aux besoins de l'époque actuelle, tant comme sécurité que comme rapidité d'exécution ou économie de main-d'œuvre. Il ne sera pas inutile toutefois de dire quelques mots de ce qui se pratique à l'étranger, en matière de réservoirs en terre, car la comparaison des divers types est une des choses qui peuvent le mieux éclairer la question.

763. Digues en terre en Angleterre. — En Angleterre et en Australie, où de nombreux réservoirs à digue en terre ont été créés pour l'alimentation d'eau des villes, l'ouvrage de retenue se compose d'un massif d'argile corroyée, placé au centre et pénétrant à l'aide d'une profonde tranchée jusqu'au terrain imperméable. Deux autres massifs en matériaux fins et doux, en terre végétale par exemple, soutiennent de chaque côté le corroi central et le protègent, tandis que d'autres matériaux, moins bien triés, complètent la digue à laquelle un empatement énorme est attribué. Il semble que l'on tienne à séparer les deux buts à réaliser, de telle sorte que l'étanchéité soit obtenue par le massif central, tandis que la résistance est demandée à une sorte de montagne factice de qualité moins bonne, qui environne le corroi.

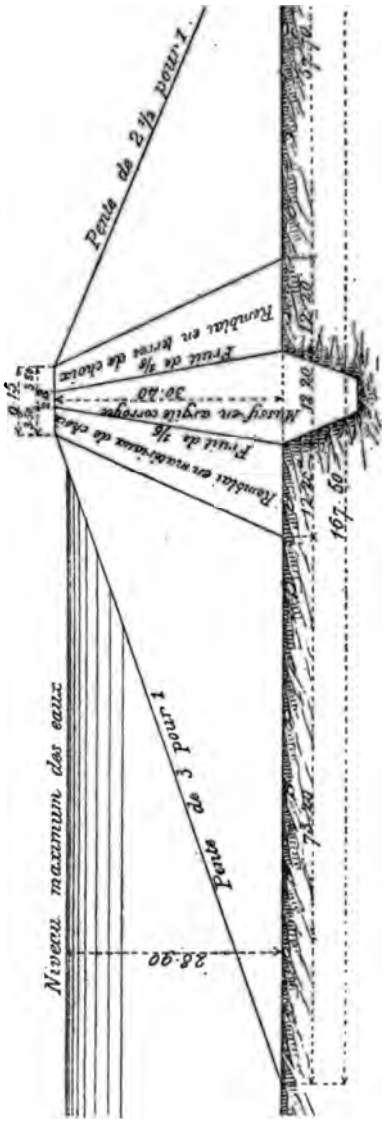
Suivant M. Rawlinson, la meilleure argile corroyée ne doit pas présenter moins d'un pied d'épaisseur pour chaque profondeur de 3 pieds d'eau, de telle sorte qu'une digue qui aurait 100 pieds de hauteur devrait contenir un corroi dont la base aurait 33 pieds et demi au moins.

Un corroi réclame de chaque côté, disent MM. Rawlinson et Beardmore, le soutien d'une masse de matériaux fins qui présentent au minimum sa propre épaisseur, afin d'empêcher que la pression de l'eau n'agisse directement sur lui à l'intérieur, et que l'air extérieur ne vienne le dessécher sur l'autre face, car ces deux actions s'ajoutent pour produire des fissures du côté externe.

Cette double précaution prise ne suffit pas à justifier l'exécution au wagon des terrassements qui restent. Les remblais

DIGUE EN TERRE (TYPE ANGLAIS)

Coupe en travers.



doivent être déposés et pilonnés par couches de six pouces d'épaisseur.

Dans une digue de ce genre, d'après les ingénieurs anglais, on ne doit pas admettre d'orifices d'écoulement. Aqueducs ou tuyaux en fonte doivent aboutir à un puits intérieur où se trouve la vanne de manœuvre, et s'établir sur l'un des versants de la vallée, au milieu des terrains résistants, en tunnel s'il le faut, pour éviter les terrains meubles qui sont, en réalité, un remblai. Mieux vaut, en pareil cas, sacrifier la bonde de fond et placer l'aqueduc à 25 pieds au-dessus du niveau du fond du réservoir, dût-on vider celui-ci, si la chose est nécessaire, à l'aide d'un siphon.

764. Accident du réservoir de Bradfield. — Ces diverses précautions étaient loin d'avoir toutes été prises au réservoir de Bradfield, destiné à l'approvisionnement de la ville de Sheffield.

Le massif central d'argile corroyée, de 27 à 28 mètres de hauteur au-dessus du fond de la vallée et pénétrant sur certains points dans le sol jusqu'à 18 mètres de profondeur, était un véritable diaphragme de 5 mètres à $5^m,50$ de largeur à la base et de $1^m,20$ d'épaisseur au sommet.

Les remblais additionnels établis de chaque côté de cette muraille étanche avaient été empruntés au sol de la vallée et aux deux versants. Dressés sur le talus d'amont, comme sur le talus d'aval, avec une pente de 2 1/2 pour 1, ils avaient été, paraît-il, transportés au wagon.

La largeur de la digue au sommet était de $3^m,66$; la longueur 382 mètres.

Les emprunts d'eau s'effectuaient au moyen de deux longs tuyaux en fonte, traversant la digue à son point le plus bas (à 9 pieds au-dessous du terrain naturel), sur 150 mètres de longueur environ. Ces tuyaux étaient environnés d'argile sur $0^m,50$ d'épaisseur et subissaient nécessairement les tassements que pouvait ressentir la masse.

Les remblais juxtaposés au corroi, sans l'intermédiaire de matériaux fins, bien que renfermant une grande quantité de grosses pierres, étaient assez imperméables dans leur partie

inférieure, mais les portions hautes n'étaient pas, paraît-il, dans le même cas.

Le 11 mars 1864, le remplissage fut presque complet; le 12, dans la journée, on ne remarqua aucun affaissement, mais le soir une fissure fut observée dans la partie haute, et à onze heures, en pleine nuit, la digue fut emportée sur environ le quart de son volume. De véritables désastres s'ensuivirent, une enquête fut ordonnée et c'est dans cette enquête que furent entendus les ingénieurs dont nous avons rapporté plus haut l'opinion[1].

Suivant eux, aucun corroi de cette nature ne doit être mis entre deux masses poreuses sous peine d'être exposé à se fissurer et à se percer sous la pression de l'eau. Si cette précaution n'est pas prise, toute lésion intérieure, due à une cause quelconque, reste permanente; et, par la pression du liquide, devient dangereuse.

La manière peu irréprochable, dit M. Rawlinson, dont les tuyaux de vidange traversent le corroi est la cause probable de la rupture. L'état de porosité des matériaux du sommet de la digue a laissé passage libre aux eaux. Quand l'eau s'est élevée dans le réservoir, elle a atteint le niveau de ce crible, a cherché une route dans le corroi, et l'a trouvée autour des tuyaux. De là cette destruction si rapide et si terrible dans ses effets... Dans tous les cas, on ne doit faire passer ni aqueducs, ni tuyaux sous les digues ni dans aucune partie du remblai.

De ce que nous venons d'exposer, il est aisé de conclure que le type anglais laisse beaucoup à désirer. Les sujétions qui sont la conséquence forcée du défaut d'homogénéité montrent que ce défaut en est bien réellement un, et nous verrons tout à l'heure que les ingénieurs anglais le reconnaissent eux-mêmes avec une netteté d'analyse dont il y a lieu de faire son profit. Examinons toutefois, auparavant, les digues construites de toute antiquité dans l'Inde, car c'est précisément à

1. A cette époque M. Lasne, aujourd'hui ingénieur en chef, était en mission en Angleterre comme élève ; c'est aux documents qu'il a rapportés, ainsi qu'à son intéressant journal de mission, que nous avons emprunté les renseignements donnés dans cet article.

leur sujet que les Ingénieurs anglais critiquent leur propre mode de procéder.

765. Digues hindoues. — Dans l'Inde, les réservoirs sont construits sans tranchée et sans corroi : la masse entière des remblais est capable de résister dans toutes ses parties à l'action des eaux.

Les digues sont presque entièrement le résultat du travail direct de l'homme. La terre est grattée sur le sol au moyen d'instruments grossiers et imparfaits, souvent à la main seulement. Les remblais sont transportés par les hommes, les femmes et les enfants, par petites quantités et déposés sur l'emplacement de l'ouvrage; ils y sont foulés sous les pieds des travailleurs, des animaux, quelquefois même par des éléphants. Ils y sont arrosés par les pluies torrentielles de la mousson, puis sèchent et se contractent sous l'action des rayons solaires. On construit ainsi, jour par jour, ces immenses montagnes, et l'on arrive peu à peu à édifier un rempart bien fermé, homogène et étanche, qui ne porte en lui aucune cause de faiblesse, ni dans les matériaux dont il est formé, ni dans la façon dont ils ont été déposés. Le soleil et la pluie, par leur présence alternative et continue, concourent également à la production d'une digue saine et durable.

Telle est la description générale que donne M. Rawlinson. On trouvera ci-contre, pour mieux préciser, la digue du réservoir du Cummun, dans la présidence de Madras. Sa construction remonte aux premiers temps de l'histoire des Hindous, c'est-à-dire à l'antiquité la plus reculée. Ce renseignement est dû à M. Charles Brumell, ingénieur.

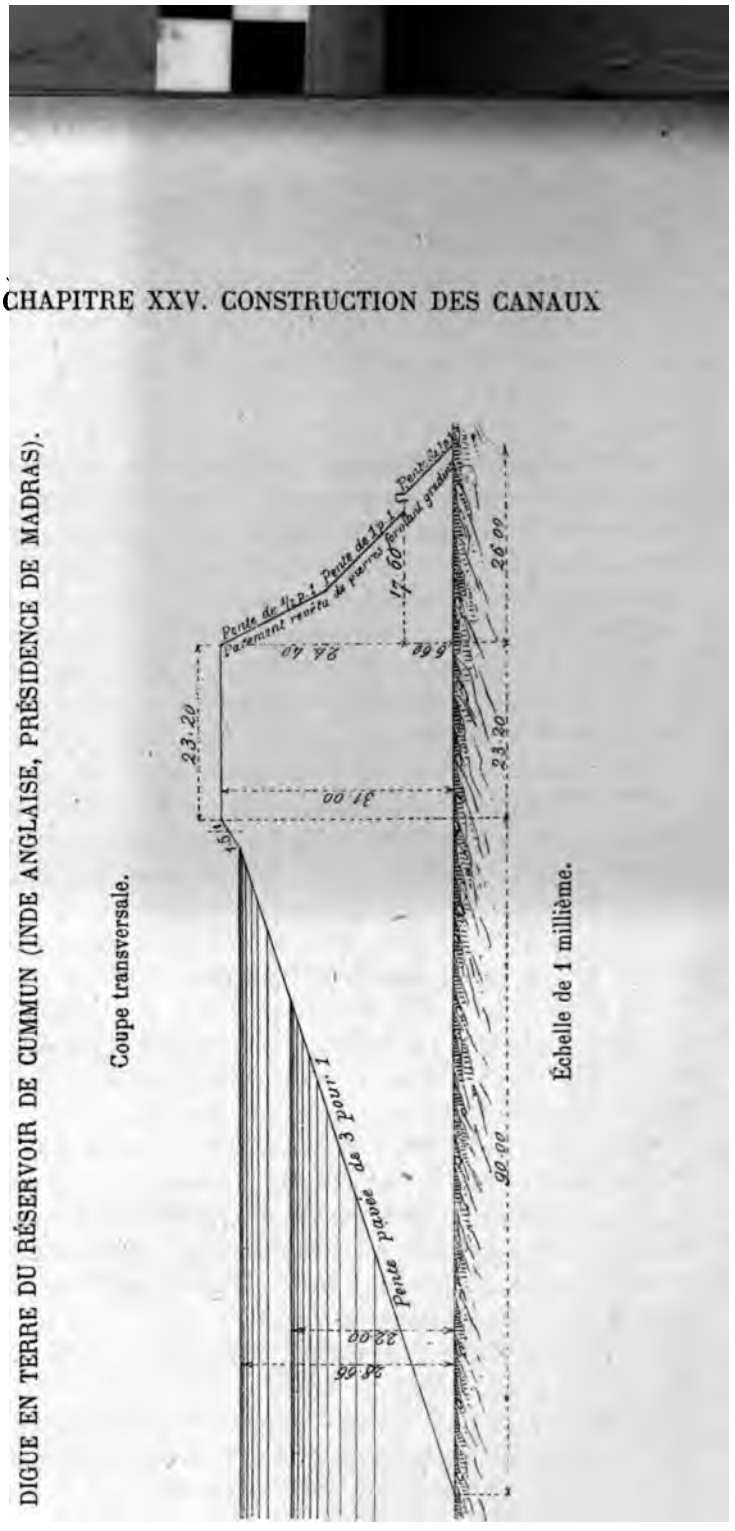
La hauteur de la digue est de 31 mètres; sa largeur en couronne $23^{m},20$.

La pente à l'amont est de 3 pour 1; à l'aval, elle est beaucoup plus rapide, mais, tandis que la première est simplement pavée, la seconde est perreyée au moyen de fortes pierres disposées en escalier.

La plus grande profondeur d'eau est de 28 à 29 mètres, laissant ainsi 2 à 3 mètres de revanche au couronnement.

Des aqueducs d'écoulement, très solidement fondés, ont été

DIGUE EN TERRE DU RÉSERVOIR DE CUMMUN (INDE ANGLAISE, PRÉSIDENCE DE MADRAS).



Coupe transversale.

Échelle de 1 millième.

établis aux deux extrémités de la digue, c'est-à-dire au point où elle s'appuie sur le coteau.

Quant au déversoir, il a été construit à 2 kilomètres et demi de la digue à l'aide d'une tranchée creusée dans les collines voisines; et il jette ses eaux dans un ravin qui les mène à la vallée principale après un parcours assez long. On semble avoir évité avec soin à la digue principale, et aux versants sur lesquels elle s'appuie, l'action possible d'une lame déversante de 70 mètres de largeur sur une hauteur que les pluies torrentielles d'un climat tropical peuvent rendre, à de certains moments, pleine de dangers.

766. Digues de Ceylan. — Sir James Emerson Tennent, dans son ouvrage sur l'île de Ceylan, décrit des réservoirs énormes et parle de digues et de bassins extraordinaires. Il donne des détails sur une digue de 12 milles (20 kilomètres) de longueur, derrière laquelle est un lac de 49 milles (68 kilomètres) de circonférence. Le lac de Minery a plus de 20 milles de circonférence; sa digue a plus de 1 mille (1.689 mètres) de longueur et une forêt de beaux arbres y a pris naissance. Ce réservoir, qui a plus de vingt siècles d'existence, est encore aujourd'hui en activité.

Comparant ces ouvrages aux réservoirs anglais, tels qu'on les fait aujourd'hui, M. Rawlinson n'hésite pas à reconnaître que la construction moderne laisse beaucoup à désirer. Le fait lui semble démontré par les ruptures qui se sont produites.

« Le procédé indien, dit-il, qui consiste à n'employer ni tranchée, ni corroi, mérite une étude attentive et une sérieuse considération. Des couches souterraines peuvent porter une charge d'eau considérable avec sécurité, si on n'a pas troublé leur stratification; mais si l'on a brisé les assises par une tranchée profonde et ouvert des fissures par des épuisements considérables, qui ont balayé les fentes du sol, on s'est peut-être placé dans des conditions telles qu'il est impossible de reconstituer un terrain solide, et on s'expose à des réparations fort coûteuses.

« Un remblai construit sans corroi, ni tranchée d'argile, mais simplement formé de couches minces de bons matériaux,

comme le font les Indiens, édifié lentement et terminé par une plate-forme qui présente une largeur au moins égale à la demi-hauteur de la digue, ne peut pas être facilement emporté par les eaux. »

767. Conclusion. — Ainsi, d'une part, l'homogénéité de la masse, d'autre part, le respect du sol naturel dont il est utile de ne pas troubler l'intégrité, semblent être les véritables conditions de succès. C'est bien là ce que réalisent les digues françaises, sinon d'une manière complète, au moins en grande partie. Les puissants corrois incompressibles, le mélange indéformable d'argile et de sable, la fondation uniforme sur des couches de base également résistantes, sont des garanties analogues à celles dont les ingénieurs anglais proclament les avantages. Quant au temps à consacrer à la construction, il est évident que nos mœurs s'éloignent trop de la patience hindoue et que nos prix de main-d'œuvre sont trop peu en rapport avec ceux des peuples de l'Orient, pour que l'on songe, nous ne dirons pas à imiter, mais même à se rapprocher des procédés d'exécution dont nous venons de parler. Et, ceci étant donné, il nous paraît ressortir de cette discussion que nos digues de réservoir, unes, homogènes, sobres dans leur profil et rationnellement défendues, ont pour elles les meilleures chances. Il y a lieu de retenir toutefois de l'expérience faite hors de notre pays, cette recommandation expresse, si bien motivée, d'éloigner toujours du remblai les orifices d'écoulement, en les plaçant dans le terrain naturel, là où il est parfaitement solide.

Nous pensons, d'ailleurs, qu'avec un mélange d'argile et de sable uni à du lait de chaux, il est inutile de donner à la plate-forme une largeur égale à la demi-hauteur de la digue. Il convient, toutefois, de ne jamais descendre au-dessous de 5 mètres, en raison des fissures qu'un été sec pourrait amener, et plus le climat fait craindre l'action solaire et les grandes pluies, plus il conviendra de se rapprocher de 8 à 10 mètres.

§ VI

BARRAGES EN TERRE ET MAÇONNERIE

768. Digue de Saint-Ferréol. — On a construit aussi des barrages mixtes en terre et en maçonnerie, dans lesquels il semble que la pensée du constructeur ait été d'assigner aux deux éléments dont se compose la digue un rôle distinct. Le réservoir de Saint-Ferréol, destiné à l'alimentation du canal du Midi, est le plus célèbre. (Voir la planche de la page 328.) Il soutient une retenue de 31 mètres de hauteur et se compose d'un immense remblai de 140 mètres de largeur à la base environ, soutenu à ses deux extrémités par des murs de 10 et de 20 mètres de hauteur, qui ne laissent dès lors entre eux, aux talus, qu'une très faible inclinaison.

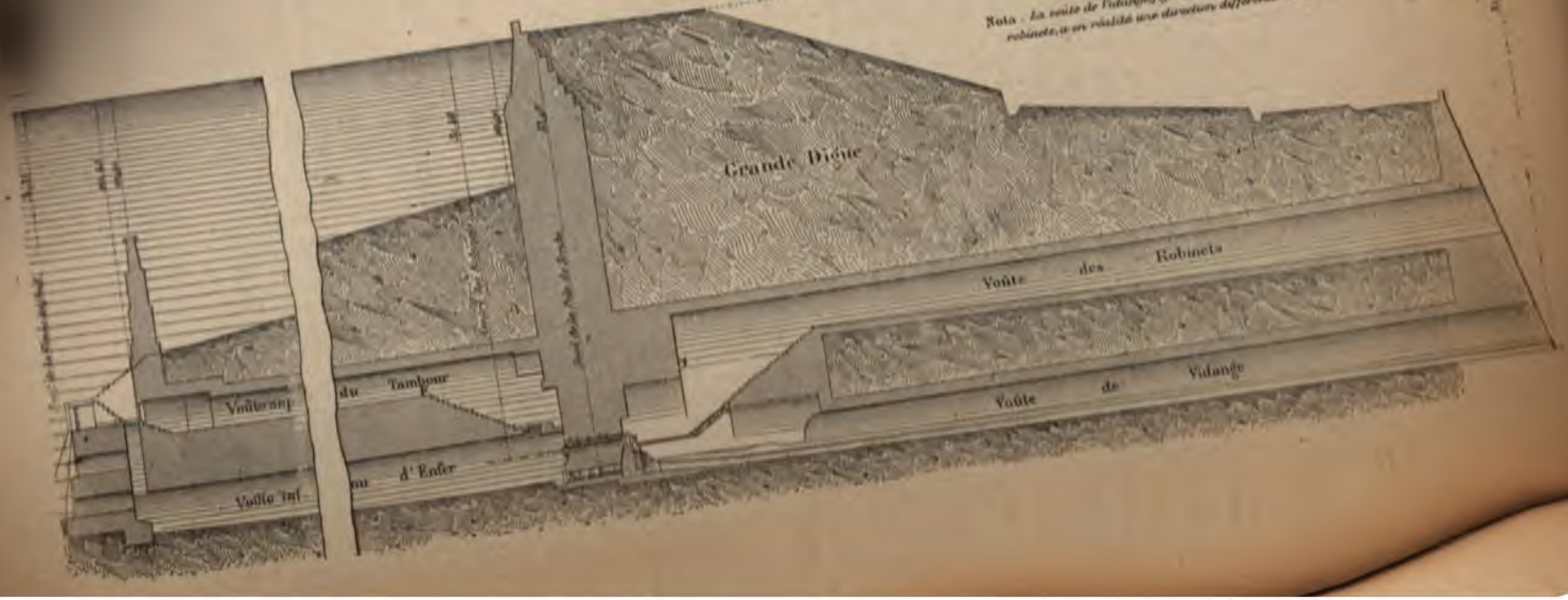
La crête du remblai d'amont est à 10 mètres au-dessous du niveau de la retenue, tandis que le remblai d'aval monte à ce niveau même. La différence se rachète le long d'un mur central, qui forme diaphragme au milieu du remblai et a, à peu près, 6 mètres d'épaisseur sur toute la hauteur de la digue. Cette maçonnerie donne à la digue l'étanchéité nécessaire, tandis que les remblais lui fournissent la résistance au renversement.

Cette double action, toutefois, n'est pas sans danger ; le mur central supporte sa part de la poussée qu'exerce l'eau sur tout le système, mais le défaut d'homogénéité de la masse ne permet pas d'apprécier si chaque partie de la construction demeure dans la mesure des efforts qu'elle doit supporter. M. Minard dit que les murs de Saint-Ferréol ont, en effet, un peu obéi à la poussée des terres; mais il est probable que ce mouvement a rétabli l'équilibre, car ce réservoir, construit à la fin du XVII^e^ siècle, n'a pas cessé de fonctionner pour l'alimentation du canal qu'il dessert.

L'émission des eaux se pratique au moyen de trois gros robinets placés à l'extrémité de trois tuyaux qui traversent le

CANAL DU MIDI. — DIGUE DU RÉSERVOIR DE SAINT-FERRÉOL. (1667-1671).

Coupe suivant l'axe de l'aqueduc de prise d'eau.



mur central et débouchent dans deux galeries, l'une d'arrivée, l'autre de départ, construites sous les talus de la digue.

Pour faciliter la visite des tuyaux et la vidange du réservoir, il y a, du côté d'amont, deux galeries placées l'une au-dessus de l'autre ; elles sont mises en communication, près du mur central, et un escalier permet de descendre de la galerie supérieure jusqu'à la hauteur de la galerie inférieure qui sert à l'écoulement de l'eau. On arrive ainsi sur un plancher établi au point de communication, et c'est de ce plancher qu'on lève la bonde de fond située au-dessous des tuyaux de prise d'eau. Cette manœuvre ne peut s'effectuer, par suite, que quand le réservoir est presque vide.

Du côté d'aval, il y a également deux galeries ; l'une supérieure qui donne accès aux robinets, l'autre inférieure servant à la décharge des eaux. La première débouche sur le talus de la vallée, la seconde aboutit au point le plus bas, c'est-à-dire au cours d'eau.

Les robinets employés sont des robinets à boisseau et à clé conique ; on les manœuvre avec des engrenages. Les clés sont maintenues dans les boisseaux par la pression de plusieurs vis, pour qu'on n'ait pas à craindre qu'elles soient enlevées par l'effet d'une manœuvre imprudente, ou par la sous-pression qui s'exerce pendant l'écoulement. Ils débitent, par 24 heures, 64.000 mètres cubes d'eau, sous une pression de 25 mètres. La tranche supérieure de 6 mètres (la plus fréquemment utilisée) est écoulée par deux aqueducs supérieurs, indépendants du système hydraulique précédemment décrit.

Nous ignorons les motifs qui ont déterminé les célèbres ingénieurs du canal du Midi, à adopter le mode de construction qu'ils ont choisi. Ils ont eu, nous n'en doutons pas, des raisons déterminantes ; mais, à notre époque, avec les facilités que l'on rencontre à se procurer de bons mortiers, avec le prix de la main-d'œuvre et des terrains, leur exemple ne paraît pas devoir être suivi. Du moment où le rocher est assez voisin pour que l'on puisse y fonder un mur central et des murs latéraux, il devient rationnel de recourir à un mur maçonné qui réunira, à lui seul, les deux qualités d'étanchéité et de résistance.

§ VII

BARRAGES EN MAÇONNERIE

769. Avantages des digues en maçonnerie. — Pour les retenues d'une grande hauteur, toutes les fois que la fondation sur un sol incompressible est réalisable, les digues en maçonnerie présentent sur les digues en terre une supériorité marquée. Au point de vue de la résistance, comme à celui de la durée et d'un facile entretien, la maçonnerie offre des garanties qu'on ne peut attendre d'un remblai, quelque soigné qu'il soit. Il est, en outre, possible de se rendre compte, dans une certaine mesure, par le calcul des efforts que peut supporter un mur de dimensions connues, tandis que, pour un remblai, on n'a que des comparaisons ou des règles empiriques, qui inspirent encore moins de sécurité.

Les digues en maçonnerie ont besoin, comme les autres, de prises d'eau, de déversoirs, de bondes de fond, de bassins de décantation, etc. Ces ouvrages accessoires, construits ici avec les mêmes matériaux que le corps de la digue, n'en sont que plus faciles à disposer. Nous reviendrons plus tard sur les détails qu'ils comportent.

770. Nécessité d'établir les grands murs sur rocher. — Nous ne signalerons également qu'en passant l'absolue nécessité de ne placer les maçonneries que sur un rocher vif et compact. L'étude des énormes pressions qui se développent dans ces grandes masses de maçonnerie, fera comprendre, mieux que tout ce que nous pourrions dire, le besoin absolu qu'elles ont de reposer sur une base inébranlable.

771. Disposition du mur en forme de voûte. — Cette condition, que tous ceux qui ont étudié la matière proclament indispensable, a fait souvent naître la pensée d'utiliser les deux versants de la vallée comme des culées, en donnant au mur la forme de voûte, toutes les fois que l'espace à franchir

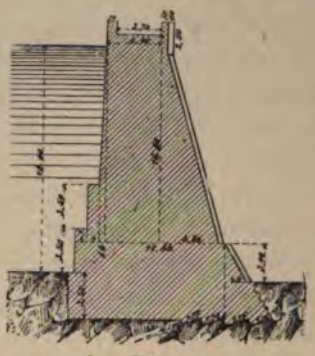
est assez peu considérable pour que l'on puisse espérer des maçonneries ce genre de résistance. On conçoit, à la rigueur, la possibilité de donner à chaque zone, suivant la profondeur de l'eau qui la baigne, l'épaisseur qui convient à la pression qu'elle subit, et de diminuer d'une quantité correspondante l'épaisseur du massif. Cette conception, toutefois, est restée dans le domaine théorique. D'abord, la résistance d'une voûte ne s'apprécie guère qu'en s'aidant d'hypothèses ou de règles empiriques qui, vraies pour une certaine échelle des constructions, peuvent ne plus l'être au delà des applications connues ; ensuite, les différents anneaux que l'on superposerait, n'ayant ni même ouverture, ni même épaisseur, auraient toute chance d'éprouver, sous la pression de l'eau, des déformations non concordantes ; il en résulterait, dans les maçonneries, des tendances à la disjonction qu'il est sage d'éviter, surtout quand il s'agit d'ouvrages dont la rupture a de si terribles suites.

772. Profil à adopter. — On prend, en conséquence, pour chaque section du mur, un profil qui suffise à assurer sa stabilité propre, par mètre courant ; ce qui n'empêche pas de donner à tout le système une courbure lui permettant de fonctionner comme une voûte, si les circonstances venaient à l'exiger. C'est ainsi qu'au barrage du Gouffre-d'Enfer, sur le Furens, le couronnement du mur a été placé suivant un arc de cercle de 250 mètres de rayon. Quant au mur lui-même, c'est un volume torique engendré par la section normale, tournant dans un plan vertical, jusqu'à sa rencontre avec les deux versants. Les murs des réservoirs construits en Espagne ont également forme de voûte; mais il est juste de dire que les barrages espagnols, comme celui du Gouffre-d'Enfer, sont établis dans des gorges très resserrées, et cette disposition des lieux, en rapprochant les culées, justifie la tendance à reporter sur elles l'effort de poussée imposé aux maçonneries. Néanmoins, tout bien pesé, on estime généralement, ainsi que nous le disions plus haut, que la forme courbe en plan ne dispense pas chaque profil, envisagé isolément, d'avoir la résistance qu'exigent les forces qui agissent sur lui.

Mais quel sera ce profil?

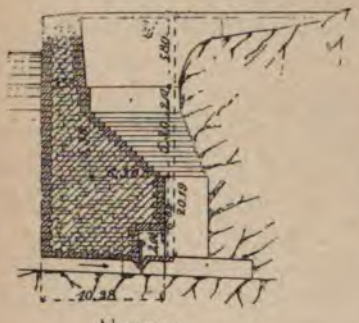
Si nous recherchons les exemples connus, nous trouverons les types les plus divers, ainsi qu'on va le voir.

773. Murs de faible hauteur. — Exemples. — Dans les faibles hauteurs, c'est-à-dire au-dessous de 20 mètres de re-

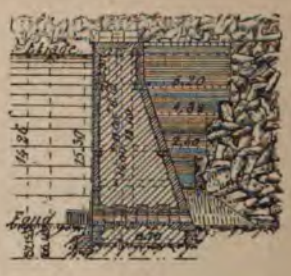


Les Settons.

tenue d'eau, les différences, bien que très sensibles, ne s'accusent pas d'une façon excessive. Les murs des Settons, de Lampy, de Bosméléac et de Glomel se ressemblent même assez;



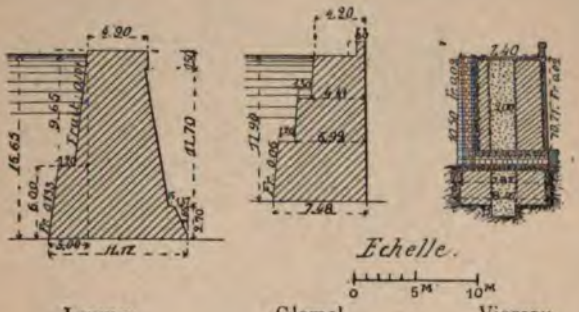
Almanza.



Bosméléac.

celui d'Almanza présente à la partie inférieure d'aval un pan coupé vertical, mais il convient de dire qu'à cette hauteur la gorge barrée se réduit à une quinzaine de mètres de largeur, et que le mur, formant alors certainement voûte dans le bas,

peut subir une diminution d'épaisseur. Enfin le mur de Vioreau a été construit évidemment, vu son peu de hauteur, avec



Lampy. Glomel. Vioreau.

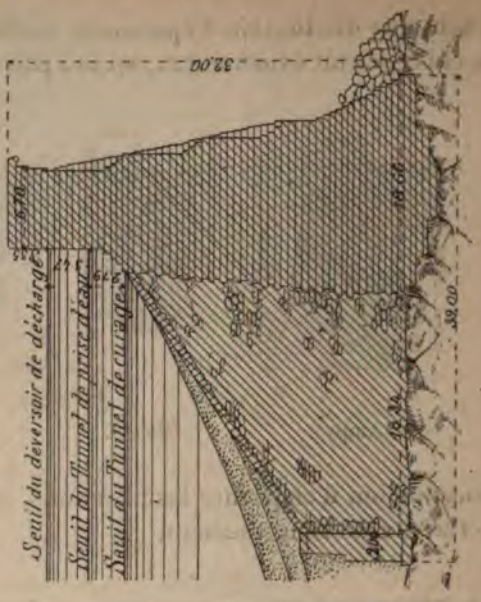
la préoccupation d'empêcher les filtrations, plutôt qu'avec l'idée de résister au renversement.

774. Murs de hauteur moyenne. — Dans les moyennes hauteurs, c'est-à-dire pour 20 à 30 mètres de retenue d'eau,

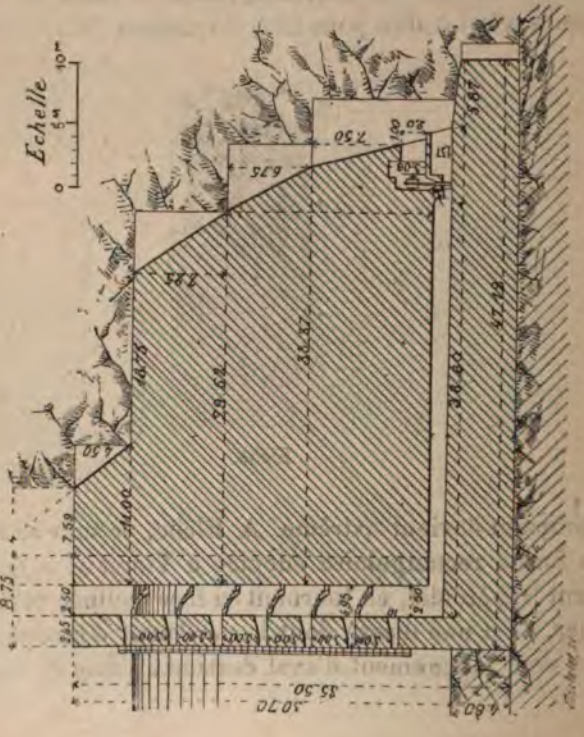
Elche.

la confusion devient extrême. A Elche, le mur se rapproche de la forme rectangulaire adoptée à Vioreau; à Grosbois, il devient trapézoïdal, en tournant sa face inclinée vers l'amont; à Nijar, c'est une masse dont le parement d'amont est vertical et dont le parement d'aval dessine à l'aide de retraites un

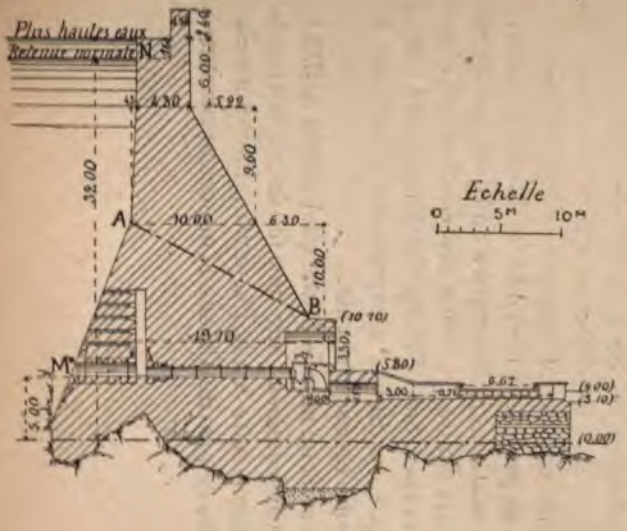
RIO LOZOYA



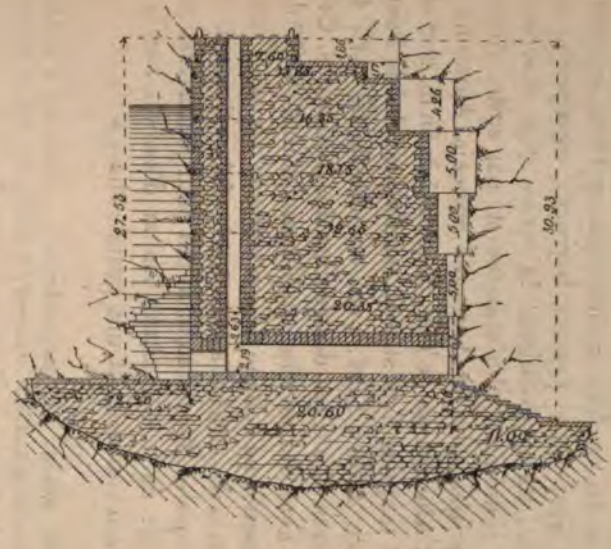
VAL DE INFIERNO



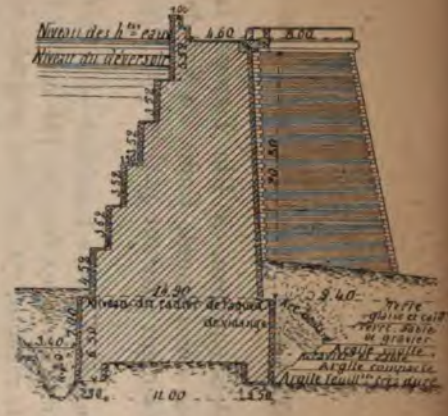
OUED FERGOUG (HABRA)



NIJAR



GROSBOIS



contour général convexe. A Rio Lozoya, la base s'élargit démesurément vers l'amont. Enfin, au Val de Infierno, c'est un massif tellement puissant qu'il est plus large que haut.

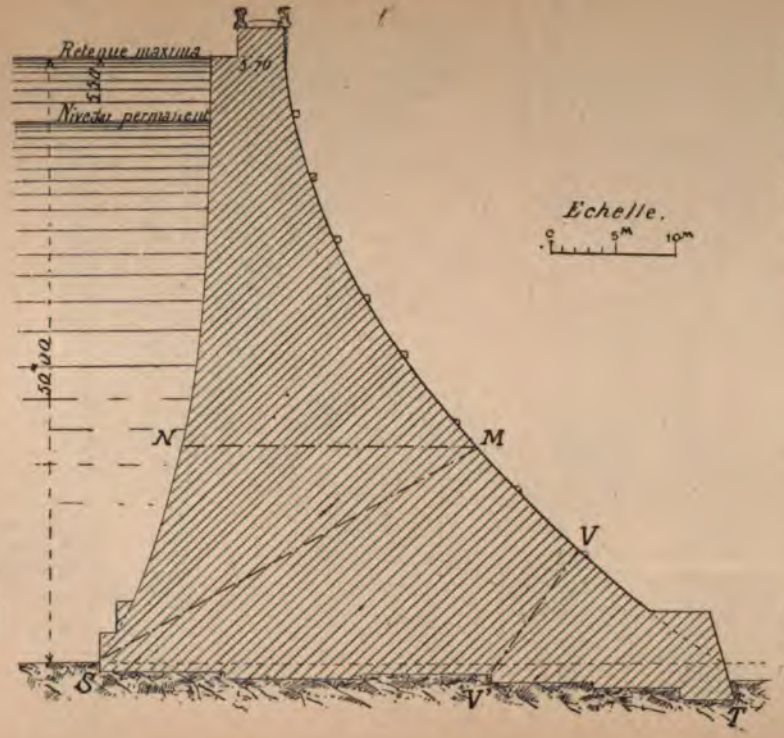
775. Murs de grande hauteur. — L'uniformité reparaît dans les grands barrages français (34 à 50 mètres de retenue d'eau) de date récente, qui ont été projetés en adoptant pour point de départ des considérations qui font aujourd'hui école. Quant aux deux grands barrages espagnols, Alicante et Puentès, ils reproduisent la forme déjà observée à Nijar, forme infiniment plus massive et, par suite, plus coûteuse à réaliser que celle des barrages français. Ajoutons que le barrage d'Alicante ou de Tibi, exécuté à la fin du XVI^e^ siècle, fonctionne toujours avec succès, tandis que celui de Puentès, construit de 1785 à 1791, a été emporté le 30 avril 1802, sous 47 mètres d'eau, par destruction des fondations. Cette énorme masse avait été, en effet, établie sur pieux de 6^m^,70 de longueur traversant une couche de gravier que les eaux ont affouillée, et dont la disparition a entraîné la dislocation et la rupture des maçonneries. Nous citons le fait pour justifier notre insistance au sujet de la nécessité absolue d'asseoir sur le rocher les murs qui soutiennent une grande charge d'eau.

776. Étude des pressions. — Action d'un mur rigide sur une fondation compressible, la force étant normale à la fondation. — En présence de cette grande variété de types, il y a lieu de chercher à faire un choix que justifient des considérations rationnelles. Nous étudierons, en conséquence, en partant des hypothèses admises en matière de résistance de matériaux, la manière dont un mur de réservoir peut se défendre contre les forces destructives qui agissent sur lui.

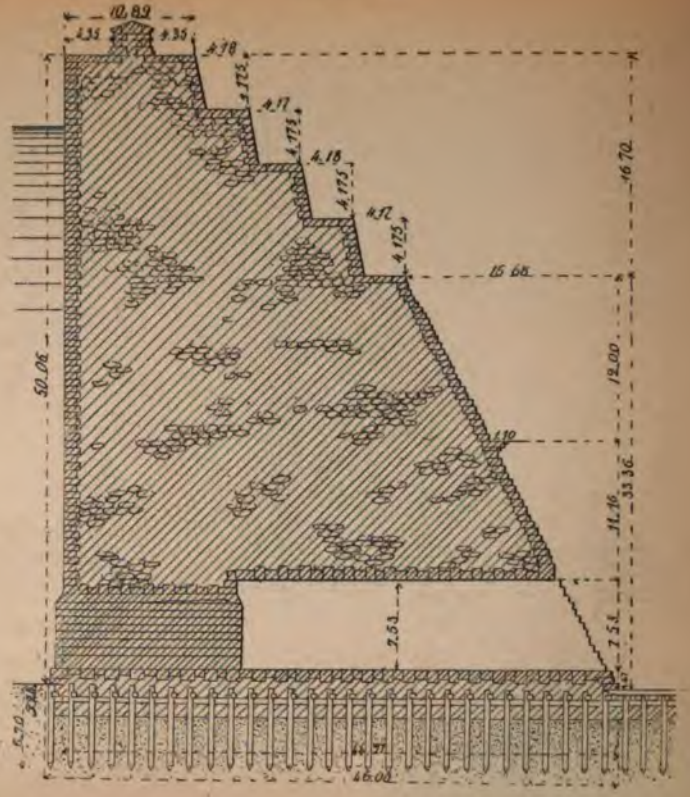
Si nous cherchons d'abord l'action exercée par un mur, supposé rigide, sur un sol compressible lui servant de fondation, le problème est assez simple.

Supposons un mur de forme quelconque ABDE (p. 339) s'appuyant verticalement sur une fondation horizontale, c'est-à-dire pressant cette fondation par une force normale appliquée à son centre de gravité. On admet que cette pression résultante dé-

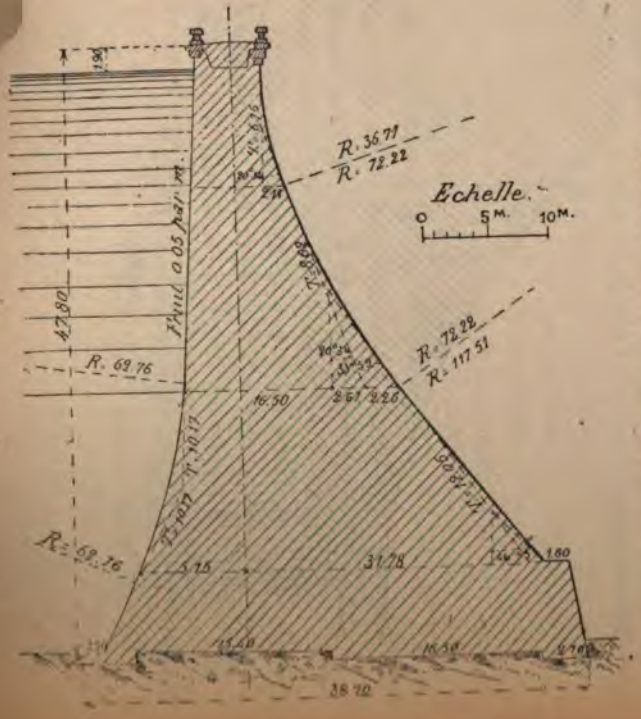
FURENS



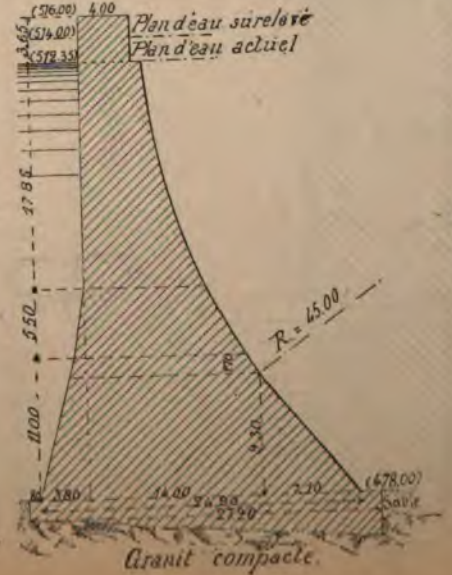
PUENTÈS



LE BAN

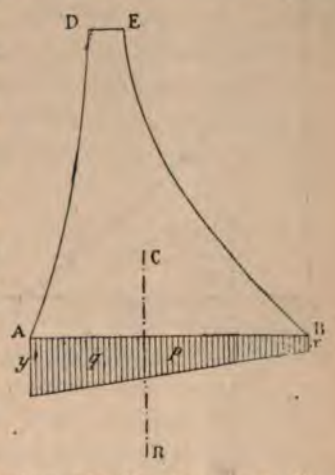


TERNAY



ALICANTE

terminera une compression du sol à l'aide de laquelle celui-ci réagira dans une mesure proportionnelle aux ordonnées d'un trapèze dont la surface représenterait la pression totale, et dont le centre de gravité se trouverait sur la direction de la résultante [1].



Si cette loi est exacte (et elle est au moins vraisemblable), il est très aisé de calculer l'effort supporté par les fondations en un point quelconque de la base. Toutefois, cette recherche a son principal intérêt à l'endroit le plus fortement comprimé, soit, dans le cas qui nous occupe, au point A. En appelant x et y les deux pressions extrêmes, p et q les deux segments de la base et R la pression résultante, on a d'abord, puisque la surface du trapèze mesure cette pression résultante,

$$R = \frac{x+y}{2}(p+q).$$

Puisque la force passe au centre de gravité du trapèze, on aura la relation :

$$\frac{\frac{x}{2}+y}{\frac{y}{2}+x} = \frac{p}{q}.$$

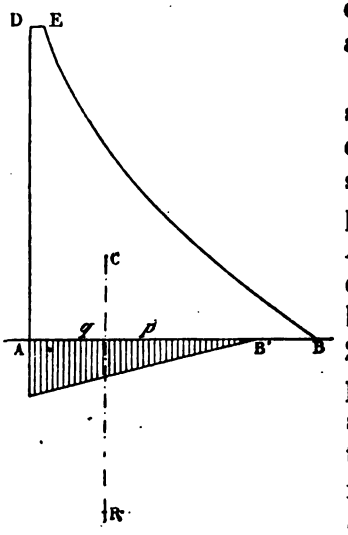
Ces équations se résolvent de la manière la plus simple et donnent pour valeurs de x et de y :

$$y = \frac{2R}{(p+q)^2}(2p-q),$$

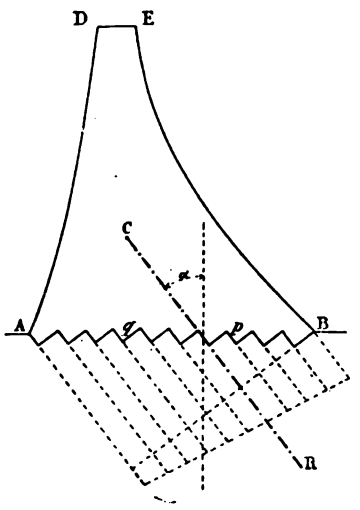
$$x = \frac{2R}{(p+q)^2}(2p-q).$$

1. C'est là une hypothèse qui pourrait être contestée, et qu'il ne faut considérer que comme une approximation, en spécifiant même qu'on ne l'ap-

On a donc la valeur des compressions extrêmes, et il est aisé de voir si la plus forte des deux ne dépasse pas la limite de charge que l'on peut imposer au sol qui sert de fondation.



Si nous changeons la forme du solide qui presse les fondations, de telle sorte que la poussée s'exerce en un point tel que q soit plus petit que le tiers de la base AB, on admet que le trapèze se change en triangle ayant pour hauteur AB′; dans ce cas, $p = 2q$ et BB′ devient une surface non pressée, inutile à la résistance. On serait conséquent avec l'hypothèse primitive si l'on admettait même sur la surface BB′ un effort de traction, occasionné par la résistance des mortiers à l'extension; mais comme cette force est très faible et d'ailleurs inconnue, on la néglige, et la formule donne alors :



$$y = \frac{\frac{2}{3}R}{p}\,x = 0.$$

Il est encore facile de voir ici si la valeur de y ne dépasse pas la limite de ce que peut supporter la fondation.

777. Cas d'une force oblique à la couche de fondation. — Si au lieu d'être normale la résultante des pressions qui agissent sur le sol est oblique, et fait un angle α avec la verti-

pliquera que dans les limites de l'élasticité des matériaux. Une des raisons qui contribuent le plus à la faire admettre est sa simplicité ; il est prudent

cale, l'hypothèse initiale nous semble devoir se traduire par une compression de la fondation, qui est mesurée par les ordonnées d'un trapèze dont la base est $(p+q)\cos\alpha$. Si nous divisions, en effet, la base AB en une série de redents, les uns parallèles et les autres perpendiculaires à la force R, il nous semble évident que les côtés parallèles ne supporteraient rien, tandis que les côtés perpendiculaires devraient résister à tout l'effort, suivant la loi trapézoïdale. La compression des fondations serait alors :

$$y=\frac{2R}{(p+q)^2}\times\frac{2p-q}{\cos\alpha}\quad\text{et}\quad x=\frac{2R}{(p+q)^2}\times\frac{2q-p}{\cos\alpha}.$$

Nous n'ignorons pas que le calcul a été fait souvent autrement. On a dit (voir la fig. p. 342) que la résultante supposée appliquée en H s'y décomposait en deux forces, l'une HL perpendiculaire à la fondation, l'autre HK parallèle. Cette dernière se détruisait par le frottement, la première demeurait seule et, sa valeur étant R cos α, les pressions limites devenaient :

$$y=\frac{2R\cos\alpha}{(p+q)^2}(2p-q)\text{ et }x=\frac{2R\cos\alpha}{(p+q)^2}(2q-p).$$

Si nous comparons ces valeurs de y et de x à celles que nous avons données plus haut, nous voyons qu'elles sont l'une par rapport à l'autre, comme $\cos^2\alpha$ est à 1, c'est-à-dire que pour $\alpha=45°$ l'une serait moitié de l'autre, tandis que pour $\alpha=30°$ elle en serait les 3/4. L'écart est donc considérable et mérite qu'on s'arrête à le discuter.

A notre avis, le frottement est une force passive qui ne se développe qu'en vertu d'une pression faisant pénétrer l'une dans l'autre les aspérités des surfaces en contact; pour qu'il y ait frottement, il faut qu'il y ait pression, et par cela même il n'est pas permis de faire abstraction d'une partie de la pression sous prétexte de frottement. Sans doute, grâce au frottement il est possible, avec une réaction normale moindre, de faire statiquement équilibre à une force oblique plus considé-

de ne s'y fier que dans une limite restreinte, dans la limite consacrée par les applications.

rable; mais, dans le sens de la force, la compression devra être ce qu'est cette force elle-même; et il importe peu, si les fondations s'écrasent, qu'elles s'écrasent obliquement ou normalement. En d'autres termes, le frottement produit, dans le sens où il s'exerce une butée qui contribue à l'écrasement des substances frottantes, suivant l'intensité de la force qui les comprime parallèlement à la surface de frottement.

On peut même dire plus; les chances d'écrasement sont d'autant plus considérables que la compression est plus oblique. Ainsi que le fait remarquer M. Dupuit, on comprend difficilement comment une force qui agit dans le même sens que la cohésion pourrait la détruire. « Les matériaux, dit-il, ne s'écrasent que par l'effet de la dilatation latérale, et quand on met obstacle à cette dilatation, on augmente, par cela même, la résistance à l'écrasement. C'est là un principe dont on a le sentiment. Ainsi, il est d'usage de fretter en fer les pieux qui doivent être fortement chargés... »

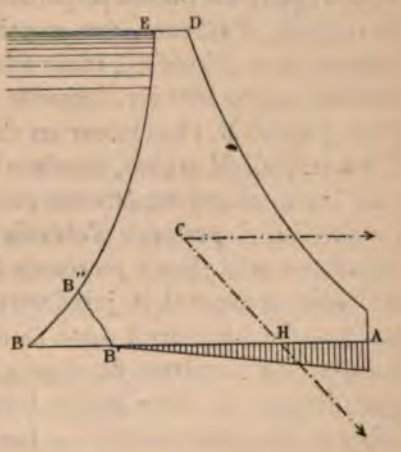
Si cette réflexion est juste, et elle ne peut manquer de l'être, il paraît évident qu'une fondation pressée par une force oblique a bien plus de chances de voir l'écrasement se produire dans le sens de l'obliquité que suivant la normale, puisque le déplacement latéral y est plus facile.

Nous estimons, en conséquence, qu'il y a lieu d'attribuer à la pression sur les fondations la plus forte des deux valeurs que nous avons comparées, sans craindre d'être au-dessus de la réalité.

778. Calcul de l'effort d'écrasement sur l'arête comprimée. — Sur ces données, il devient facile de calculer l'effort qu'exerce sur ses fondations un mur de réservoir supposé monolithe et indéformable. La résultante R sera le produit de la composition du poids P du mur et du poids P′ du prisme d'eau AFD, avec la poussée horizontale de l'eau Q, laquelle s'exerce au tiers de la hauteur de la retenue. Cette résultante définitive coupera la base obliquement et donnera lieu aux pressions dont nous avons parlé plus haut, pressions qui ne doivent pas être supérieures à celles que peut supporter la couche de fondation.

Supposons, par exemple, que l'on ait exécuté une fondation en béton coulé (c'est-à-dire imparfaitement comprimé), d'une très grande étendue, et que, confiant dans la largeur de l'empatement, on ait, sur cette couche compressible, placé un mur en pierre de taille susceptible de supporter et supportant en effet une pression de 20 à 30 kilogrammes par centimètre carré. Dans ces conditions, il est évident que la pierre de taille ne s'écrasera pas; mais elle transmettra sa pression au béton, surface pour surface, et c'est le béton auquel elle est immédiatement superposée qui s'écrasera, puisque sa limite locale de résistance sera dépassée.

779. Efforts de rupture vers l'arête soulevée. Tel est l'écueil à éviter à l'extrémité où s'opère le maximum de compression; voyons s'il n'y en a pas un autre du même genre, du côté où tend à se produire un soulèvement.



Considérons un mur de la forme indiquée à la figure ci-contre, et admettons que la résultante des forces qui le pressent passe à une distance AH du point A, telle que AH soit plus petit que 1/3 AB. Nous aurons alors,

d'après la loi trapézoïdale, une surface BB′ non pressée et tendant même à se soulever lorsque le mur tendra à s'incliner vers l'aval pour suivre le mouvement déterminé par la compression.

Cette tendance au soulèvement se transmettra à une certaine partie du mur ainsi en porte à faux; il y aura un solide BB′B″ qui, sous l'effort de la poussée de l'eau jointe à son propre poids, tendra à se détacher du reste du mur, suivant une ligne B′B″, variable avec la forme du mur, et qui ne passerait même pas nécessairement par B′. Ce brisement, s'il se produisait, aurait pour effet immédiat de supprimer un notable moment de résistance au renversement autour de l'arête A, et, par suite, d'augmenter en A la pression exercée par le reste du mur. Le calcul primitif se trouverait donc vicié, et l'erreur serait d'autant plus grande que le bloc BB′B″ serait plus considérable.

Or, qu'est-ce qui s'oppose à cette fracture BB′B″ ? Une seule chose, la cohésion des maçonneries le long de la même section B′B″, c'est-à-dire une force inconnue, et, en tout état de cause, très faible, sur laquelle il serait absolument imprudent de compter. Il a été fait quelques expériences, en effet, sur la résistance à l'arrachement de certains mortiers de qualité supérieure, mais ces expériences, appliquées à des briquettes de faible dimension et homogènes, ne donnent pas de résultats certains pour un massif important construit à la main. Elles fournissent, d'ailleurs, une certaine notion de l'adhérence du mortier avec lui-même, mais elles ne justifient pas celle des moellons et du mortier, laquelle serait environ trois fois plus faible d'après M. l'Ingénieur en chef Cendre (*Annales de* 1879, 1er semestre). Bien plus, le même ingénieur déclare que, même avec les mortiers supérieurs dont il se servait, il a constaté l'impossibilité pratique d'obtenir l'adhérence à la pierre d'un joint horizontal. Il n'a pu réunir l'un à l'autre deux morceaux taillés qu'en plaçant le joint verticalement, et en y fichant du mortier. On ne saurait donc se considérer comme autorisé à compter sur la partie du mur qui tend à se soulever; il est sage de faire en sorte que la forme générale du massif conduise à une compression sur toute la base, c'est-à-dire à une

résultante qui soit renfermée dans le tiers médian de cette même base.

780. Effet des forces actives sur un mur déformable. — Dans tout ce qui précède, nous n'avons envisagé le mur que comme un solide indéformable (dans les limites au moins de sa résistance à la rupture), et cette hypothèse nous a amenés à nous faire une idée de l'effet produit par lui sur une fondation compressible.

Mais ce n'est pas là le cas habituel, surtout quand il s'agit de grandes retenues. Le mur, nous l'avons déjà dit, et nous insistons encore sur ce point, est toujours fondé sur un rocher solide, vif et à peu près incompressible. Ce ne sera pas alors la fondation qui se déformera, c'est le mur lui-même, parce que les maçonneries y seront pressées sur une surface relativement indéformable.

Alors, il se produira dans le mur une déformation que nous sommes forcés d'admettre, mais la loi nous échappe; et il n'est plus loisible de composer les forces entre elles suivant les lois de la statique : « Lorsqu'il s'agit d'apprécier la déformation d'un massif, dit M. Dupuit, il faut calculer l'effet de chacune des forces, suivant son point d'application, sur les éléments dont le massif est composé, et bien se garder de substituer l'effet de la résultante à l'effet des composantes. Deux forces égales et agissant en sens contraire, suivant une ligne droite, ont une résultante nulle et ne peuvent troubler l'équilibre du massif auquel elles sont appliquées, considéré comme monolithe; mais elles peuvent parfaitement en opérer l'écrasement ou la dislocation. »

Appliquons ces considérations à un mur de réservoir de la forme indiquée à l'art. 779, et pour mieux faire saisir le phénomène qui se passera, prenons des chiffres qui le rendront plus sensible. Supposons que la retenue ait 50 mètres de hauteur et que la base ainsi que la forme aient été combinées de telle sorte que le mur supporte à son arête A une compression de 5 kilogrammes par centimètre carré. C'est l'effort qui est réputé convenir, quand il est permanent, à une maçonnerie de moellons calcaires médiocres et de chaux peu énergique.

Le massif, en vertu des forces générales qui agissent sur le système, éprouvera le maximum de pression prévu en A, et la compression de ses matériaux ira en diminuant à mesure qu'on s'éloignera de l'arête autour de laquelle tend à se produire le renversement. Dans cette partie de la construction, les forces générales et les forces locales agissent dans le même sens, et leur énergie combinée doit produire un effet du même genre que si le mur était indéformable.

Mais il n'en est point de même au point B. Là, la force locale, c'est-à-dire la pression due à une hauteur d'eau de 50 mètres (soit comme à l'autre extrémité 5 kilogrammes par centimètre carré) agira sur le parement du dernier moellon pour le comprimer avec une énergie égale à celle qui se développe au point A. Si l'on admet l'une des compressions, il faut admettre l'autre, et il s'ensuivra une diminution de volume dans le sens de la pression sur la surface BB″, soit une tendance à la séparation d'autant plus énergique que l'on descend plus bas sous la retenue, et que l'inclinaison du parement sur l'horizontale est plus faible.

Or, comment se traduira en pratique cette tendance à la séparation ? On ne peut espérer comme dans le bois ou le métal une cohésion qui permette à chaque élément de s'allonger régulièrement sous la tension ; la maçonnerie n'est pas assez homogène, le mortier qui la lie n'est pas assez parfait pour qu'un effet de ce genre se réalise; il arrivera ce qui arrive toujours en pareil cas, c'est-à-dire que la maçonnerie restera adhérente par blocs, et que des fissures se produiront dans le parement d'amont aux points faibles, fissures à peine perceptibles, mais suffisantes pour diviser le monolithe, diminuer l'effort résistant, et laisser s'accentuer par cela même l'effort de renversement. C'est une tendance du même genre que celle que nous avons reconnue tout à l'heure, dans le cas ou AH est moindre que 1/3 AB. Elle est due à ce que, dans cette partie de la construction, les forces locales agissant dans un sens autre que celui des forces générales, l'énergie combinée des unes et des autres ne peut pas produire des actions analogues à celles qui se manifestent dans un mur indéformable. Ajoutons qu'avec le temps les filtrations, même sous forme

de suintements, dans chacune de ces fissures capillaires, auront toute chance de dissoudre la chaux, de transformer le mortier en sable, et de propager la séparation dans l'intérieur du massif.

Si notre analyse est juste, le mal est dû à ce que les éléments du parement amont, supposés individuellement indéformables, sont soumis à une compression normale à leur surface extérieure qui peut se décomposer (chaque bloc étant relativement indéformable) en deux forces, l'une horizontale qui le presse contre le reste du mur, l'autre verticale qui tend à le séparer de l'élément supérieur. La première est plutôt favorable que nuisible à la cohésion du massif, la seconde ne peut être utile à la résistance générale que dans une mesure inconnue. Plus la retenue est haute et le parement d'amont incliné, plus la dernière des forces s'accentue, plus elle a par suite de chances de devenir dangereuse, et plus il sera prudent de ne pas lui confier un rôle important.

781. Forme du parement d'amont. — Il suit de là, qu'au point de vue que nous envisageons à présent, la forme de mur la plus sûre est celle qui présente un parement à pic à la pression de l'eau, puisque avec ce type la composante verticale est nulle, la composante horizontale agissant seule dans un sens peu redoutable.

Ajoutons immédiatement que cette disposition, en portant à son maximum le moment dû au poids du mur et au maximum le moment dû à la poussée de l'eau, conduit forcément à une résultante d'intensité minima, c'est-à-dire à une pression totale aussi faible que possible sur l'ensemble des fondations. Nous ne disons pas, on le remarquera, que la compression en A sera plus forte ou plus faible dans un cas que dans l'autre; mais c'est là un point dont nous sommes maîtres par un élargissement convenable de la base, tandis que nous ne sommes en rien maîtres des forces que nous mettons en jeu, lorsque nous faisons contrepoids à l'action qui s'exerce sur le parement d'aval, par la pesanteur d'un volume d'eau et de maçonnerie que nous rattachons au parement d'amont.

Un exemple fera mieux comprendre notre pensée.

Examinons le mur de Furens (art. 775), et prenons, par exemple, un point M placé sur le parement aval à $30^{m},80$ au-dessous du niveau maximum de la retenue.

Si nous considérons ce point comme l'arête aval d'un mur qui soutiendrait une hauteur d'eau de $30^{m},80$, et qui, par suite, s'arrêterait à la section horizontale MN, nous trouvons que le maximum d'effort supporté par les maçonneries sera à peu près 7 k. 60 en M.

Si, au contraire, le point M est pour nous l'extrémité de la section oblique MS du mur pris dans toute sa hauteur, et soumis à une poussée d'eau de 54 mètres, le maximum d'effort, dans la section envisagée demeurera toujours au point M, mais il s'élèvera à environ 9 k. 40.

Si, maintenant, nous faisons entrer tout le massif en ligne, nous trouverons sur les fondations, ou sur l'assise inférieure du mur, une pression comprise entre les précédentes soit 8 kil. à 8 k. 30 aux environs de l'arête aval, en T^{1}. Il suit de là que le mur de Furens a besoin, sous le rapport de la résistance à l'écrasement, d'une maçonnerie plus forte en M qu'à la base. En augmentant la section MN d'une quantité suffisante, on modifierait à son gré la situation; mais si on le faisait, il conviendrait d'examiner ensuite si cette correction, en augmentant le poids du mur et en faisant varier un peu la position du centre de gravité du système, n'a pas aggravé les pressions sur une autre section et simplement déplacé le maximum.

Enfin, si du point T nous remontons au point V placé à $3^{m},20$ au-dessus de la retraite d'aval, en nous demandant ce qui se passe sur la section brisée VV'S, nous trouverons au point V une pression de $9^{k},30$ à $9^{k},40$, et ce résultat ne surprendra pas, si l'on songe que le faisceau de forces comprimantes qui passe sur VV' peut, en raison de la forme très concave du mur, avoir plus d'influence sur VV' que n'en a sur

1. L'évaluation précise en ce point particulier est un peu problématique, en raison de l'existence d'une large retraite, qu'on ne saurait considérer comme indéformable.

une base plus large ce faisceau très légèrement augmenté par l'addition du triangle TVV′.

Si nous nous sommes bien fait comprendre, le calcul appliqué à la section horizontale passant par un point du parement d'aval d'un mur de réservoir, est loin de donner la valeur des pressions qui se développent en ce point, lorsque le mur est à toute sa charge. Les sections inclinées sur l'horizon fournissent des résultats sensiblement différents. La valeur de la pression à l'arête du renversement croît d'abord, puis décroît ensuite, prenant son maximum pour une inclinaison qui varie avec la charge d'eau, avec la forme du mur et avec la compression limite admise, suivant des lois qui nous échappent, mais que des tâtonnements peuvent remplacer, jusqu'à ce qu'on ait pu les reconnaître et les formuler.

Ainsi, le parement d'amont d'un mur étant vertical, l'épaisseur au sommet ayant été arrêtée, on déterminera le parement d'aval en donnant à chaque assise une largeur suffisante pour qu'aucune des sections obliques qui peuvent se pratiquer dans le mur par la même arête de renversement, ne présente des conditions de résistance inférieure à celles que nous avons déterminées en nous occupant de la base.

787. Conclusion. — Nous serions heureux de formuler un principe plus directement applicable, et nous n'ignorons pas que de très belles constructions ont été réalisées, avec plein succès, sans que ces règles aient été observées. Aussi ne doit-on voir, dans tout ce que nous venons de développer, aucune pensée de critique, mais seulement une préoccupation de prudence que ce genre d'ouvrage justifie pleinement. Les Ingénieurs aussi savants que hardis qui ont élevé les murs du Furens, du Ban, de Ternay et autres, ont pu oser, parce qu'ils avaient à leur disposition des moellons granitiques, de la chaux éminemment hydraulique du Theil, et des sables excellents; ils ont, en outre, leurs rapports en font foi, apporté dans l'exécution des travaux des soins minutieux et une surveillance incessante. Ce sont là des conditions de succès qu'il faut remplir, si l'on veut s'autoriser de leur exemple, car un exemple n'est probant que quand les objets comparés sont

identiques. Les indications générales qui servent de base aux calculs de résistance n'ont, d'ailleurs, rien d'absolu; ce sont des moyennes dont on peut s'écarter dans une large mesure, pourvu que le choix des matériaux et la mise en œuvre répondent aux besoins exceptionnels à desservir. Si ces indications moyennes avaient été toujours rigoureusement suivies, nous n'aurions ni les coupoles de nos monuments, ni nos ponts surbaissés et à grandes ouvertures, ni ces nombreux chefs-d'œuvre de l'art gothique que font admirer depuis plus de six siècles nos vieilles cathédrales. Tout ce que nous avons voulu dire, c'est qu'en restant dans les conditions ordinaires de nos constructions utilitaires, il serait dangereux de s'autoriser d'exemples exceptionnels pour s'affranchir des règles de prudence qui, en semblable matière, ne sauraient être trop strictes.

Peut-être trouvera-t-on que nos appréciations pèchent par défaut de hardiesse, et qu'on pourrait compter plus que nous ne conseillons de le faire sur les forces résistantes mises en jeu. Nous répondrons par les considérations suivantes :

Pour étudier la répartition des pressions, nous avons commencé par admettre la loi trapézoïdale comme acquise, alors que ce n'est qu'une hypothèse; et, de ce premier fait, il peut y avoir des mécomptes.

788. Homogénéité de la construction. — Si sa vraisemblance la fait accepter, il faut nécessairement accepter aussi ses conséquences, dont la plus importante est la complète homogénéité de la masse. Comment admettre, en effet, que les pressions entraîneront des déformations proportionnelles si les matériaux employés ont une compressibilité variable? Supposons, par exemple (voir art. 779), que pour soutenir la pression maxima qui s'exerce en A nous ayons placé une assise de pierre de taille de A en H. Il s'ensuivra que le volume de pierre de taille qui a AH pour base se déformera moins que les portions situées à la gauche de H et, nécessairement, se chargera plus que le reste. Sa composition, en matériaux de choix, lui permettra de résister, mais la réaction qui s'ensuivra écrasera l'assise de maçonnerie ordinaire qui lui est superposée. L'introduction de pierre de taille aura donc fait l'effet d'une cale

placée sous une forte pierre, près d'une arête, qui, ou s'écrase elle-même, ou, si elle est dure, fait éclater la pierre au point de contact. Pour qu'il n'en fût pas ainsi, il faudrait que le massif de pierre de taille s'élevât jusqu'à une hauteur suffisante pour que la maçonnerie ordinaire qui le presse ne sorte pas des lois qu'exige sa nature; mais alors interviendrait une question de densité variable, infirmant également les calculs. En somme, on est ramené, comme conséquence de la loi trapézoïdale, à l'emploi de la maçonnerie ordinaire d'une manière à peu près exclusive, avec mêmes moellons, même chaux et même sable, nous dirions aussi, volontiers, mêmes maçons; car toute atteinte à l'homogénéité ne peut avoir d'autre effet que de fausser la régularité de distribution de pressions qui a été admise.

Le besoin de cette homogénéité se fait sentir partout, jusque dans les fondations. Supposons, par exemple, qu'un mur ait été, par suite de circonstances difficiles, fondé sur un béton coulé, et que dans la fouille on ait rencontré une pointe de rocher solide que l'on ait incorporée au mur en l'enveloppant de béton dans le bas, de maçonnerie ordinaire dans le haut. Il

aura pu sembler utile de conserver un appui naturel, incompressible relativement aux maçonneries, et dont la position fixe la construction au sol d'une manière absolue. Nous nous garderions bien de prétendre qu'on aurait eu tort de faire ce raisonnement; mais, dans ce cas, pour que la loi trapézoïdale

puisse s'appliquer au mur, c'est-à-dire pour que nos procédés de calcul méritent confiance, il faut, ou que les maçonneries qui enveloppent le rocher soient à peu près aussi résistantes que lui, ou que la base s'élargisse assez pour que la compression ne s'y développe que d'une quantité insignifiante. Si, au contraire, au-dessous d'une section MON, les maçonneries peuvent se dérober sous la charge à la faveur d'une réduction de volume que ne peut pas accepter le point O, il est évident que les maçonneries s'écraseront en O. Et si elles se chargent trop sur cette pointe, une autre conséquence qui peut se produire, c'est l'ouverture d'une fissure suivant une ligne OK, variable avec les forces en jeu, avec la cohésion des maçonneries, avec mille causes en un mot. Mais on peut être certain que, dans ce genre de lutte, les forces destructives sauront toujours profiter des points faibles, de telle sorte, qu'ici encore, toute erreur, toute malfaçon aggrave les conséquences d'une insuffisance de force même sur un autre point.

789. Imperméabilité des maçonneries. — Les formules admettent non seulement le monolithisme du mur, mais encore son imperméabilité. Nous ne parlerons pas du cas d'une fissure, ou d'un tassement introduisant une tension d'eau dans la masse, car, dans ce cas, l'effet destructeur est évident ; nous voulons simplement signaler ces nombreux suintements qu'engendrent les grandes pressions et qui ont pour suite l'entraînement de dépôts calcaires à la surface des murs. Il n'est pas douteux que cette action lente, mais persistante, ait pour effet, avec le temps, de changer la composition des mortiers pour les affaiblir. Elle est due à des causes diverses parmi lesquelles figurent l'insuffisance d'hydraulicité et d'homogénéité dans les chaux, l'impureté du sable, la perméabilité des moellons, etc., et il s'ensuit qu'avec des matériaux de qualité médiocre, il se soulève une question de durée qui peut encore amener de redoutables éventualités.

Il nous est donc permis de dire que les hypothèses dans lesquelles nous nous sommes placés, si elles se présentent avec une moyenne tranquillisante, laissent encore place à des mécomptes nombreux qu'il ne faut pas se dissimuler.

790. Examen des conséquences des accidents. — Ce n'est pas tout. Il ne suffit pas, ici, de n'envisager que l'ouvrage détruit dans les conséquences d'un désastre. Il ne sera pas inutile de mettre sous les yeux le tableau sommaire de ce qui s'est passé au moment de ces terribles accidents.

Le 30 avril 1802, d'après un témoin oculaire, lorsque le barrage de Puentès s'écroula, après deux explosions successives déterminées par des destructions partielles, une troisième explosion amena l'ouverture en grand de la base du mur sur 33 mètres de hauteur et 17 mètres de largeur, avec l'émission « d'une montagne d'eau en forme d'arc, effrayante à la vue, et dont la couleur était rouge comme le feu, soit à cause des vases dont elle était chargée, soit à cause des reflets du soleil. Le volume qui s'écoulait était si considérable que le réservoir fut vidé dans l'espace d'une heure. Les eaux arrivèrent à Llorca (10 à 12 kilomètres) avant le messager envoyé au directeur pour lui faire part des premiers événements ; atteint par elles, cet homme fut obligé de se sauver sur la montagne voisine. » 608 personnes furent noyées, 89 maisons furent détruites, et les pertes se chiffrèrent à 5.500.000 francs.

Le 5 décembre 1825, la digue de l'étang du Plessis, qui ne contenait que 600.000 mètres cubes d'eau, fut emportée malgré sa faible hauteur. « La vallée et le canal du Centre furent couverts en plusieurs endroits par l'inondation ; les digues du canal furent coupées en soixante points ; neuf bateaux furent brisés, onze autres sortirent du canal par des brèches et deux de ces bateaux y rentrèrent par d'autres brèches. La maison éclusière n° 15 disparut emportée jusqu'aux fondations ; le pont Guichard fut affouillé et une de ses culées s'écroula en grande partie, le pont de Paray fut emporté, celui de Bord dégradé, les moulins de Paray endommagés, la route de Digoin à Toulon coupée, un homme noyé, nombre de trains, de marchandises, de dépôts de bois de charbons, etc., disséminés dans la vallée et emmenés en Loire avec des meubles et des charpentes. » (Notice de M. Vallée. *Annales* de 1863. — 1er semestre.)

Le réservoir de Sheffield (Angleterre), lors de sa rupture qui

a eu lieu en 1864, amena sur le cours d'eau qu'il barrait un débit de 1.100 mètres cubes par seconde, à la vitesse de 8 mètres. « Tout ce qui se trouvait devant le courant était balayé. Des rochers énormes étaient renversés et poussés au loin, absolument comme des morceaux de bois. Des premiers moulins rencontrés, il ne reste aucun vestige. Des maisons avec leur population endormie s'abîmaient soudainement dans le gouffre. » (Brochure anglaise sur la rupture du barrage de Sheffield.) Une enquête dont nous avons parlé plus haut établit que 238 personnes furent noyées, 798 maisons détruites ou abandonnées, et 4.354 inondées. En moins d'une demi-heure, le quart de la digue, soit 70.000 mètres cubes de terre, furent emportés avec plus de 3 millions de mètres cubes d'eau, et le tout, roulant sur une pente de 12 mètres par kilomètre, vint fondre sur Owlerton, faubourg de Sheffield, où, la vallée s'élargissant, le flot put s'apaiser.

Lors de la destruction du réservoir de Tabia (province d'Oran, Algérie) « les eaux ont parcouru 8 kilomètres de vallée encaissée en une heure, soit avec une vitesse de $2^{m},50$ par seconde ; elles s'avançaient en tourbillonnant sur des hauteurs de 4, 5 et 6 mètres, suivant la largeur de la vallée, et entraînaient tout sur leur passage, maisons, champs, jardins... » (Rapport de M. l'ingénieur en chef Aucour).

Enfin, nous trouvons, à propos de la rupture récente (16 décembre 1881) du barrage de l'Oued Fergoug ou de l'Habra, les renseignements qui suivent, dans un journal, à défaut de documents officiels : « La masse d'eau se ruait avec une vitesse vertigineuse par la brèche béante de 120 mètres de longueur sur 10 mètres de profondeur. C'était 12.000 mètres cubes qui se précipitaient avec une terrible force d'impulsion, s'échappant d'un lac de 36 millions de mètres cubes... Dès le vendredi matin, c'est-à-dire vingt-quatre heures après la rupture du barrage, on avait entassé déjà 60 cadavres sur les dalles de l'église de Boughirat... Ici des toits de maisons, là, des charrettes sans roues dont les ferrures sont tordues comme si elles eussent passé au feu, des futailles vides, des vestiges de mobiliers, des gourbis entiers transportés à 10 kilomètres au moins de leurs douars. Et partout

des arbres brisés vers la racine, que le torrent furieux a transportés à d'étonnantes distances. J'ai compté plus de 500 arbres ayant de 40 à 60 centimètres de diamètre, et que l'eau avait violemment arrachés... C'était, sans doute, ces béliers, mus par la force des eaux, qui avaient défoncé les maisons, en emportant au loin les débris épars... La voie ferrée, éventrée sur une longueur de 6 kilomètres au delà du pont de l'Habra, est remplacée par des ravins de 7 à 8 mètres... 11 douars arabes, 11 de ces villages où les indigènes n'ont pour habitation que des cabanes en roseaux couvertes de chaume, sont engloutis et emportés comme des bottes de paille... »

Au moment où paraissait l'article que nous venons de citer, la rupture du barrage de l'Oued Fergoug était toute récente et les causes de ce désastre peu connues. Aujourd'hui encore, il n'y a pas de motif, à notre connaissance, qui lui ait été officiellement assigné, et nous ne pouvons donner, à ce sujet, que nos propres conjectures. Ces conjectures, basées sur les renseignements qui nous ont été fournis par MM. les Ingénieurs, sont d'accord avec les considérations que nous venons d'exposer ; et, à ce titre, bien qu'elles ne constituent qu'une vraisemblance, nous n'hésitons pas à les donner.

Le barrage a été arasé par les eaux à 15 mètres environ au-dessous du niveau de la retenue sur une longueur de 125 mètres, qui est précisément la largeur du lit du cours d'eau barré. La brèche est régulière ; la partie du mur supérieure à la ligne AB (voir art. 774) a été emportée, tandis que la portion inférieure ainsi que les fondations ont été respectées ; il s'est fait, en un mot, un véritable déversoir, presque horizontal, aux environs du niveau de l'angle rentrant A. Ceci accuse, à notre sens, une insuffisance dans toute cette étendue de la digue.

Si nous cherchons la pression maxima développée dans les maçonneries, aux environs du point B, nous trouverons une dizaine de kilogrammes par centimètre carré ; or, si nous nous reportons à la notice de M. Pochet (*Annales* de 1875, avril) nous voyons que la pierre employée aux maçonneries était loin d'être homogène, que le sable laissait à désirer ; et, en outre, que le chantier, pendant la construction, décimé par le

choléra, n'avait été maintenu qu'à grand'peine. La chaux elle-même n'avait qu'une hydraulicité ordinaire, et de nombreuses efflorescences qui tapissaient le parement aval témoignaient de l'appauvrissement des mortiers. Il pouvait donc, rationnellement, y avoir un point faible aux environs de B et lorsque la maçonnerie, sur ce point, s'est dérobée ou écrasée, on conçoit facilement que la pression de l'eau retenant AM, une séparation se soit produite en A et ait permis au parement vertical AN d'obéir à la poussée horizontale.

L'accident a d'ailleurs été déterminé par un glissement du mur sur le rocher de la culée de rive droite, au droit d'une filtration considérable qui a ébranlé ce rocher lui-même, et cet ébranlement a été le signal de la rupture d'un système trop tendu. L'événement a donc eu, en réalité, une cause accidentelle ; mais nous estimons qu'il y avait néanmoins insuffisance et que, tôt ou tard, cette insuffisance se serait révélée.

En présence de ces catastrophes, d'une part, et, d'autre part, des éventualités que laissent subsister nos calculs, qui pourra nous blâmer si nous recommandons de ne mettre en jeu que des forces connues, et de suivre jusqu'au bout nos hypothèses dans ce qu'elles ont de défavorable comme dans les déductions dont nous faisons profit? Ce rapprochement suffira, nous le croyons du moins, à justifier des scrupules que nous ne sommes pas seul à avoir, car, dans l'enquête qui a eu lieu à propos de la rupture de la digue de Scheffield, un Ingénieur anglais, M. Nathaniel Béardmore disait : « Quand on a de l'eau pour adversaire, on doit se prémunir contre tous les dangers, même contre ceux qui semblent le moins probables. »

791. Détermination de la forme d'un mur. — Entrons maintenant un peu plus avant dans l'application et demandons-nous comment il est possible de déterminer la forme d'un mur de réservoir.

En dehors de la poussée de l'eau, qui est connue, deux forces naturelles vont être mises en jeu, il faut commencer par les étudier.

792. Densité de la maçonnerie. — La première est le poids du mur. Plus, pour une forme donnée, les maçonneries seront denses, moins le mur aura besoin d'épaisseur ; plus, en revanche, la base sera chargée. Il est peu de pays, du reste, où l'on puisse choisir entre diverses espèces de matériaux ; des raisons économiques conduisent habituellement l'Ingénieur, surtout dans les gorges où peuvent se construire les grands barrages, à utiliser ce qui se trouve à sa portée ; et, alors, sa première étude est celle de la densité qu'auront les maçonneries édifiées au moyen du sable et des moellons dont on dispose. L'expérience est facile et fournit une des données de la question, donnée qui est loin d'être sans influence sur les résultats.

793. Résistance à l'écrasement. — La seconde force naturelle mise en jeu est la résistance des maçonneries. Nous ne conseillerons pas ici les expériences directes ; elles présentent trop d'incertitudes, et nous estimons que l'on aura tout avantage à se reporter aux moyennes admises qui, s'il s'agit de compression, peuvent être à peu près les suivantes :

Pour du béton coulé, 3 à 4 kilogrammes par centimètre carré.

Pour de la maçonnerie, avec moellons calcaires ordinaires et chaux peu hydraulique, 5 kilogrammes par centimètre carré.

Pour maçonnerie en calcaire dur avec chaux hydraulique de bonne qualité, 6 à 7 kilogrammes.

Pour maçonnerie en moellons granitiques avec chaux éminemment hydraulique, 10 à 12 kilogrammes.

794. Rapport de la densité à la résistance. — Il est à remarquer, ici, que la résistance des maçonneries et leur densité sont liées l'une à l'autre et croissent ensemble d'habitude. On est conduit, par là même, à avoir des sables et des mortiers d'autant meilleurs que les matériaux sont plus durs. C'est encore une conséquence de la loi d'homogénéité que l'on retrouve partout dans les constructions. Ainsi, d'après les expériences faites jusqu'ici, les maçonneries en moellons de

gneiss, en sable granitique et en chaux du Theil, pesant 2.360 kilos au mètre cube (Notice de M. Bouvier. — *Annales* d'août 1875), peuvent porter 12 kilogrammes et même 14. Pour des moellons calcaires durs admettant, avec mortiers ordinaires, une limite de 6 kilogrammes, la densité, d'après M. Pochet (*Annales*, Avril 1875) serait 2.150. Quoi qu'il en soit de ce rapport, les poids et les résistances, envisagés séparément, peuvent s'apprécier dans chaque cas particulier.

795. Qualité des matériaux employés. — On rejettera tout sable impur et toute chaux hydraulique donnant des efflorescences. L'un et l'autre défaut conduisent à un affaiblissement des mortiers qui rend l'avenir menaçant à un moment inconnu, mais à peu près inévitable.

Plus les moellons d'ailleurs seront durs et résistants, plus sera faible leur adhérence aux mortiers, plus il sera nécessaire, par suite, d'avoir des chaux de qualité supérieure et de ne pas mettre en jeu, en un point quelconque de la masse, les forces qui tendent à une dislocation par arrachement. C'est encore là une observation qu'il convient de ne pas perdre de vue.

796. Revanche sur le niveau normal. — Ces données recueillies, on appréciera, suivant l'orientation du bassin et les vents régnants dans le pays, la revanche qu'il convient de laisser à la digue au-dessus du niveau normal ; $1^m,50$ est un minimum ; $2^m,50$ à 3 mètres sont nécessaires si des vagues un peu fortes doivent déferler sur l'ouvrage.

797. Épaisseur au couronnement. — L'épaisseur en couronnement sera suffisante à ce qu'une voiture puisse circuler sur le mur. C'est un avantage dont il serait regrettable de se priver, et il s'ensuit une largeur, parapets compris, d'à peu près 4 mètres. Cette largeur, il est vrai, peut être obtenue par un élargissement sur voûtes comme on l'a fait au mur du Furens ; mais dans cet exemple le massif plein a plus de 3 mètres, et cette dimension n'a rien d'exagéré en cas de choc de glaçons.

798. Tranche supérieure. — On supposera alors les deux parements descendant verticalement jusqu'au point où la poussée de l'eau et le poids du mur combinés, conduisent sur une section horizontale à la pression limite qu'on s'est imposée. On vérifiera, à ce point extrême, si les pressions qui se développent sur les sections obliques ne dépassent pas cette même limite, et, généralement, dans les parties hautes du mur, on ne sera pas conduit à élargir la base. Si l'on y était amené, on donnerait au mur une forme légèrement trapézoïdale dans sa partie supérieure.

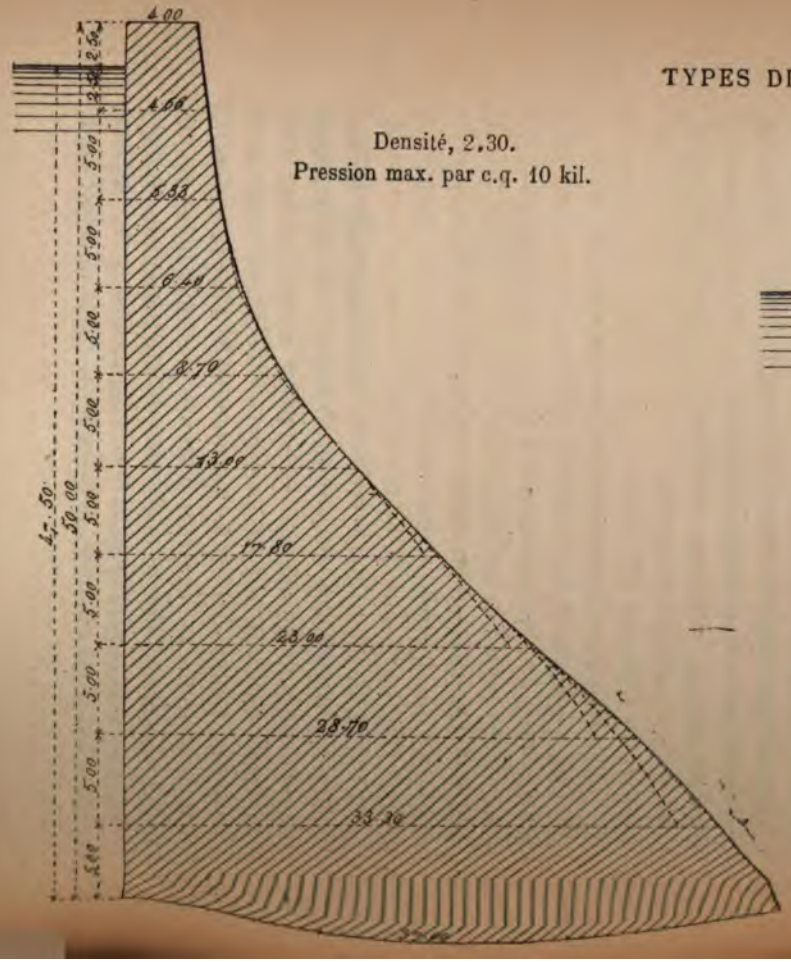
Le parement d'amont est, ainsi que nous l'avons dit, supposé vertical sur toute sa hauteur.

799. Détermination des épaisseurs du mur à des hauteurs diverses. — Pour déterminer la forme du parement d'aval, on partage le reste de la construction en une suite de tranches horizontales, pour chacune desquelles on recherche la largeur nécessaire en envisageant successivement la section OM, horizontale, qui sert de base au tronçon supérieur, puis les sections obliques ON, OA, OK, qui rayonnent d'un même point du parement d'aval à des points divers du parement d'amont, et même de la fondation. On trouvera, dans cette recherche, que la largeur horizontale OM, suffisante pour la base d'un mur de hauteur DM, est insuffisante pour un mur de hauteur DN ou DA. En d'autres termes, le profil à adopter pour un mur de 30 mètres de hauteur, n'est pas tout à fait celui qui convient aux 30 premiers mètres d'un mur de 50 mètres de hauteur. Plus la hauteur croît, plus la différence s'accentue ; elle se prononce d'autant plus tôt que les maçonneries employées ont un coefficient de résistance plus faible.

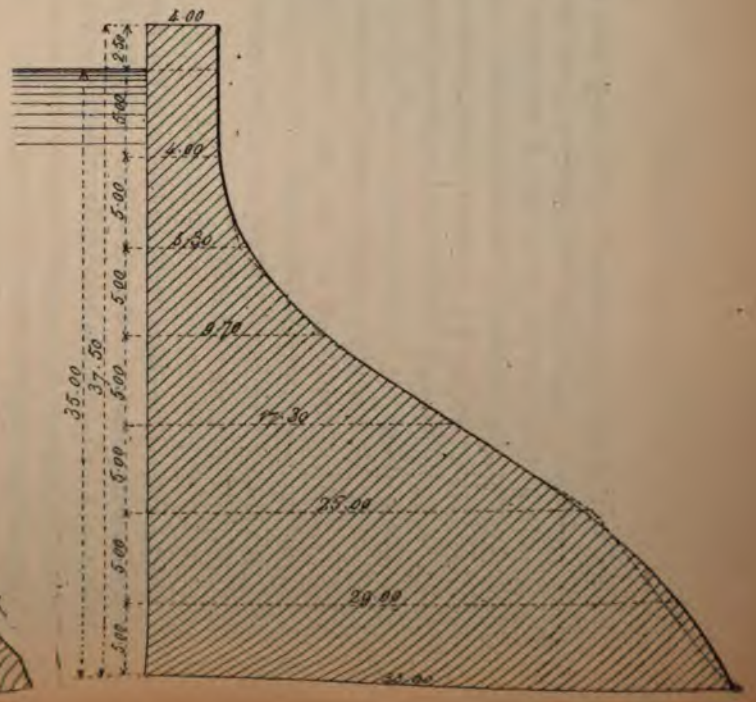
Profils déterminés d'après ces considérations. — Sur ces bases, nous avons déterminé le profil de deux murs de réser-

TYPES DE MURS DE RÉSERVOIRS

Densité, 2,30.
Pression max. par c.q. 10 kil.



Densité, 2.10.
Pression max. par c.q. 5 kil.



voir en partant de données différentes (Voir p. 364). L'un, de 50 mètres de hauteur, suppose des maçonneries d'une densité égale à 2,3 et susceptibles de résister à une pression de 10 kilogrammes par centimètre carré. L'autre, de 35 mètres de hauteur, serait destiné à des maçonneries dont la densité serait 2,1 et la résistance 5 kilogrammes par centimètre carré.

Les deux types admettent 4 mètres de largeur en couronne et un parement d'amont vertical. Le léger élargissement que peut exiger l'hypothèse du réservoir vide n'entre pas dans le calcul du mur, et n'est, en quelque sorte, qu'un étai pour le cas de nécessité.

Les lignes courbes, tracées près du parement d'aval à l'intérieur de la section, représentent les profils qui conviennent à des murs de hauteur successive, qui auraient pour base chacune des horizontales de la section à laquelle elles se terminent.

Il ne faut, bien entendu, attacher aucune idée de calcul exact à ces recherches, qui sont basées sur des hypothèses, et même sur des hypothèses approximatives. Aussi, au lieu d'affirmer que les pressions maxima sont de 10 kilogrammes par centimètre carré dans le premier type, et de 5 kilogrammes dans le second, nous bornerons-nous à dire que l'on se trouvera probablement, avec une bonne exécution et des conditions convenables d'homogénéité, aux environs de ces limites.

800. Mise en charge progressive des maçonneries. — Parmi les conditions de bonne exécution, il faut compter la mise en charge progressive du mur par la retenue. Il est sage, on le conçoit facilement, de n'imposer aux maçonneries leur pression maxima que quand elles ont acquis une dureté à peu près complète. Même avec les bons matériaux qui ont servi à la construction du barrage de Ternay, M. l'Ingénieur Bouvier estime qu'un effort maximum de 10 kilogrammes nécessite, dans les mortiers, deux à trois ans d'âge, et que, pour 14 kilogrammes, on devrait attendre une dizaine d'années. Au barrage du Furens, les maçonneries commencées en 1862 ne se sont terminées qu'en 1866, de telle sorte qu'au moment de la

mise en eau définitive les couches inférieures avaient quatre ans de prise. Le travail d'une année n'était noyé que l'année suivante et ces immersions successives de la partie la plus large de la contruction n'y déterminaient que de faibles pressions, exerçant pour ainsi dire le mur, à mesure qu'il s'élevait, à supporter l'effort définitif et maximum qui lui serait imposé plus tard. Ce sont là des soins habiles et des précautions d'une haute prudence qu'il est indispensable de prendre, quand on s'autorise de ces remarquables modèles pour les imiter.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces diverses considérations, malgré leur importance. Nous regrettons de n'avoir pas pu arriver à une méthode plus mathématique pour la détermination de la forme d'un mur de réservoir; mais la question est si complexe que nous ne voyons par quel côté on peut arriver à mettre le problème complet en équation. Nous ne pouvons que souhaiter qu'un autre soit plus heureux.

Passons maintenant aux ouvrages accessoires de la retenue.

801. Prises-d'eau. — Bien que nous ne nous trouvions plus ici en face d'un milieu compressible, comme dans les digues en terre, les pressions et les vitesses qui s'ensuivent sous de fortes charges d'eau sont telles qu'il est encore prudent d'isoler du massif les orifices d'écoulement. « C'est pour éviter toute solution de continuité, dit M. l'Inspecteur général Graeff à propos du barrage du Furens, que l'on a adopté les tunnels latéraux dont nous avons indiqué l'usage. Nous aurions regardé comme un danger permanent toute ouverture dans un barrage de la hauteur de celui du Furens[1]. » Ces tunnels latéraux sont, en effet, percés dans le contrefort sur lequel s'appuie le mur, et débouchent dans la vallée secondaire d'Issertine. L'un d'entre eux prend les eaux à 8 mètres en contrehaut du fond, l'autre à $5^{m},50$ en contrebas du niveau maximum. Le dernier débite les eaux d'une façon directe, tandis que le pre-

1. C'est là une recommandation sage, mais qu'il convient de ne pas s'exagérer. Elle a trait surtout aux orifices à grande profondeur ; mais dans la partie supérieure de la digue, il est évident que les prises d'eau ne sont pas forcément en tunnels. Ce n'est pas parce qu'on emploie des matériaux parfaitement résistants qu'on est tenu d'écarter les solutions admises pour les digues en terre, comme au réservoir de Panthier, par exemple.

mier les écoule par trois conduites en fonte, munies de robinets sur leur parcours et de valves de sûreté à leur tête. Ces conduites en fonte sont encastrées à leur origine dans un massif de maçonnerie de 11 mètres de longueur, qui obstrue complètement l'entrée du tunnel du côté du réservoir, et reconstitue ainsi le versant. La galerie a été d'ailleurs ouverte dans le roc vif, en sorte que les mauvaises chances semblent écartées. Nous ne pouvons entrer dans tous les détails ingénieux qui caractérisent cette création du réservoir du Furens, mais on les trouvera consignés dans le mémoire inséré par M. de Montgolfier aux *Annales* de février 1875.

Ce mode de prise d'eau en tunnel se retrouve aussi dans les grands barrages espagnols dont nous avons parlé, combiné avec l'existence d'un puits central. Ce puits, de $0^m,80$ à 1 mètre de diamètre, est ménagé dans l'intérieur du massif à $0^m,60$ de distance du parement amont. Sur toute sa hauteur sont percées des barbacanes de $0^m,20$ à $0^m,25$ de hauteur et $0^m,10$ à $0^m,15$ de largeur, par lesquelles l'eau pénètre librement, quelle que soit la hauteur de vase accumulée dans le fond du réservoir. Le puits est continué dans le bas par une galerie à faible pente, laquelle court parallèlement au parement d'amont jusqu'au rocher naturel qui forme la berge. Arrivée là, elle se retourne dans le sens du thalweg, et est creusée en tunnel dans le rocher même ; ses dimensions sont suffisantes pour qu'un homme y passe debout ($1^m,70$ sur $0^m,60$ environ). La sortie des eaux est réglée à l'aide d'une ventelle de dimension beaucoup plus faible, placée à l'extrémité aval de la galerie, et manœuvrée d'une chambre spéciale creusée dans le rocher immédiatement au-dessus. M. Aymard, qui a étudié sur les lieux mêmes ces appareils et leur marche, estime dans son ouvrage (*Irrigations du midi de l'Espagne*) qu'ils résolvent, « de la manière la plus heureuse et la plus complète, le problème d'une prise d'eau dans un réservoir soumis aux envasements. » On peut cependant avoir quelques appréhensions au sujet de cette fermeture unique sous une grande charge d'eau, qu'une avarie pourrait mettre hors de service et qu'il serait alors bien difficile de remplacer.

Il n'en demeure pas moins établi que, dans un massif de

maçonnerie d'une très grande hauteur, tous les Ingénieurs ont considéré comme prudent de ne pas avoir de solution de continuité, et de placer les écours dont on doit se servir fréquemment dans les flancs du rocher plein sur lequel, nécessairement en pareil cas, les maconneries s'appuient, plutôt que dans les maconneries elles-mêmes.

802. Bonde de fond. — Ce principe a été suivi jusqu'au bout dans le barrage du Furens, où l'on ne trouve pas de bonde de fond ; il a été possible de supprimer cet orifice grâce aux précautions prises pour détourner les eaux troubles au moment des orages. Au barrage de la Rive, sur le Gier, on a préféré également arrêter les dépôts au moyen d'un premier bassin de décantation qui retient les matières transportées les plus lourdes. En Espagne, où les ravins barrés sont encore plus torrentiels, on n'a pas cru pouvoir s'en dispenser, et la bonde de fond a été utilisée non seulement à la vidange du réservoir, mais encore et surtout à l'écoulement des dépôts. Elle a reçu le nom de « desarenador ». Voici comment elle est disposée et manœuvrée, au barrage d'Alicante.

L'aqueduc où galerie de curage est placé dans l'axe même du thalweg et traverse en droite ligne de l'amont à l'aval le massif. Son orifice vers l'amont est de $1^{m},80$ de largeur pour $2^{m},70$ de hauteur[1], puis la section va s'élargissant régulièrement dans tous les sens afin de permettre aux vases qui y seront entraînées de s'épanouir au lieu de se comprimer. Tout est construit en pierres de taille de forte dimension. L'ouverture d'amont est barrée par une solide porte formée de pièces de bois juxtaposées et calfatées, qu'arment en outre d'autres pièces de bois placées en arrière, de facon à offrir à la poussée de l'eau une résistance inébranlable.

L'expérience a montré qu'en quatre ans le fond du réservoir se remplissait sur 12 à 16 mètres de hauteur de vase, que la

1. Nous rapportons la dimension même, parce que, sur d'autres barrages où le même procédé est employé, mais où l'orifice est moindre, l'opération réussit moins bien. Vraisemblablement avec des dépôts d'une compacité donnée, il faut, pour que ces dépôts puissent se laminer par l'ouverture, que celle-ci ait une section suffisante.

pression agglutine et rend assez compacte pour qu'elle se soutienne seule, pendant quelque temps au moins. On pénètre alors par l'aval dans le « desarenador » et on ruine la porte en affaiblissant les bois petit à petit pour ne pas provoquer, dans la masse, de mouvement compromettant pour la sécurité. Il a été constaté qu'au bout de quatre ans, l'opération était sans danger.

La porte enlevée, on fait pénétrer dans les vases une longue barre à mine du haut du barrage, au droit de l'orifice de l'aqueduc, et l'on amène ainsi l'eau supérieure avec sa pression jusqu'aux couches qui ne sont plus appuyées par la porte. Celles-ci se mettent alors en mouvement lentement et en occupant toute la section de l'aqueduc; leur vitesse n'est pas supérieure à celle d'un homme marchant au pas; puis, au bout de quelques secondes, l'eau se faisant jour, amène une débâcle générale avec de véritables explosions, et tout ce qui avoisine la galerie est rapidement entraîné. Aussitôt que le réservoir est vide, on y met une brigade d'ouvriers qui jettent le reste des vases dans le lit du ruisseau et le curage s'achève ainsi à bras d'homme, à l'aide des eaux pérennes.

Au réservoir d'Elche, on a supprimé le danger qui peut naître de l'enlèvement de la porte, en plaçant au-dessus du desarenador, une seconde galerie percée d'un trou dans son radier, par lequel on ruine les étais qui soutiennent le blindage.

On comprend que, pour réaliser des opérations de ce genre, les Ingénieurs Espagnols aient prodigué la pierre de taille et augmenté les épaisseurs dans la mesure que montrent leurs types ; mais on ne peut se dispenser de reconnaître en même temps que le procédé est simple, pratique et digne d'attention malgré sa brutalité apparente. Tout en le citant, nous estimons qu'il est plus sage de recueillir les dépôts dans des bassins de décantation, et d'éviter ces écoulements tumultueux qui ne doivent pas être sans inconvénient pour les intérêts riverains situés en aval.

En résumé, si le régime torrentiel des cours d'eau fait craindre un envasement trop rapide du bassin, malgré les précautions que nous avons indiquées, nous pensons qu'avec la forme des murs français, il vaut mieux s'exposer à perdre

un peu de la profondeur du bassin, ce qui ne lui fait perdre qu'une très minime fraction de sa capacité, et placer la bonde de fond en tunnel. On choisira l'emplacement le plus favorable, au double point de vue de l'écoulement des vases et de la longueur du tunnel; puis, à l'aide, soit d'un puits, soit de tout autre ouvrage, on disposera la tête de façon à pouvoir user du procédé Espagnol quand le besoin s'en fera sentir, c'est-à-dire à de longs intervalles. Ce procédé, en effet, dans de semblables conditions, nous semble être le seul vraiment pratique, une fermeture mobile devant perdre sa mobilité après l'envasement. On adoucira d'ailleurs, autant qu'on le voudra, la violence de l'opération en la rendant plus fréquente, et en ne l'effectuant que sous une pression d'eau modérée. On demandera plus aux eaux pérennes, et moins à la débacle artificielle, dût le curage être un peu plus coûteux, et l'on pourra, croyons-nous, tirer parti d'un exemple qu'il serait peut-être difficile d'imiter complètement.

Ces réflexions, bien entendu, ne s'appliquent qu'aux barrages de très grande hauteur. Pour les retenues moyennes, avec une bonne fondation et de bons matériaux, la bonde de fond, dans l'ouvrage même, nous paraît avoir bien moins d'inconvénients. On ne perdra toutefois jamais de vue qu'ici la solidité est tout, la facilité d'une manœuvre qui ne se pratique qu'à de longs intervalles ne devant entrer qu'accessoirement en ligne de compte.

803. Déversoirs. — Les déversoirs des barrages en maçonnerie n'exigent pas les mêmes précautions que ceux des digues en terre. On a cru même pouvoir se dispenser de les utiliser en plusieurs barrages espagnols. Le mur d'Alicante, notamment, fut surmonté par une lame de $2^{m},50$ le 8 septembre 1792. M. Aymard rapporte que les eaux tombèrent en cascade du haut du barrage sans faire aucun mal; et cette épreuve a donné une telle confiance dans la solidité de la construction que le déversoir de décharge est, depuis lors, solidement fermé par des poutrelles, parce qu'on préfère de beaucoup emmagasiner la réserve d'eau correspondant à sa hauteur.

A Elche et au val de Infierno, il n'y a même pas eu de déversoir établi ; à Nijar et Almanza, on en a placé latéralement aux barrages, et cette disposition nous paraît de beaucoup la plus sûre. Avec les puissants revêtements en pierre de taille qu'emploient les Ingénieurs espagnols, avec les versants absoluments dénudés des gorges barrées, on conçoit qu'on ait pu risquer un déversement superficiel, mais c'est un procédé d'écoulement qu'il est bon de ne pas généraliser. Tous les barrages français, du reste, sont munis de déversoirs, soit que, comme au Furens, les eaux de la rivière soient dérivées à volonté, soit que, comme au barrage de l'Oued Fergoug (Habra, province d'Oran) on ait placé latéralement au mur un vaste écours de 125 mètres de largeur et de $1^{m},60$ de profondeur, susceptible d'écouler une crue de 4 à 500 mètres cubes par seconde. La première disposition nous semble préférable quand on peut la réaliser, mais l'une ou l'autre doivent être adoptées, surtout quand le terrain sur lequel le mur est établi n'est pas absolument inébranlable. Nous n'insisterons pas, d'ailleurs, sur le détail de ces déversoirs, qui sont les mêmes pour les murs en maçonnerie que pour les digues en terre.

804. Création probable de réservoirs. — Telles sont les données qu'il nous est possible de fournir sur les digues de réservoir. Nous nous y sommes arrêtés quelque temps, tant à cause de l'intérêt que présente le sujet par lui-même, qu'en raison du regain d'actualité que l'époque actuelle ne peut manquer de lui fournir. Il est au moins vraisemblable que les travaux qui s'entreprennent en France, pour l'augmentation du tirant d'eau des voies navigables, nécessiteront la création de nouveaux réservoirs. Si l'on y joint les besoins de l'agriculture, la défense du territoire contre les inondations, et l'appauvrissement toujours croissant des cours d'eau pendant l'été, on reconnaîtra qu'un avenir fécond est ouvert à ces créations à la fois logiques, utiles et grandioses.

Il nous reste à dire quelques mots de divers procédés exceptionnellement employés pour créer des réserves d'eau ou utiliser celles que la nature a mises à notre disposition.

Décantation des réservoirs naturels.

805. Soutirage des lacs des Pyrénées. Vidange du lac Bleu. — Dans les Pyrénées, on rencontre un certain nombre de lacs formant des réserves naturelles. Ces lacs nombreux, mais peu étendus en général, sont placés à de grandes hauteurs et dans des gorges si sauvages qu'il est difficile, sinon impossible, d'y transporter en quantité suffisante les matériaux de choix qu'exige la construction d'un mur. Aussi, au lac Bleu, près de Bagnères de Bigorre, a-t-on usé du procédé inverse, si nous pouvons nous exprimer ainsi. On a percé un tunnel horizontal à 20 ou 25 mètres en contrebas du niveau du lac, et à l'aide de tuyaux placés dans ce tunnel, on a vidé la partie supérieure du réservoir. La rapidité des pentes est telle qu'un tunnel de 200 mètres a suffi; et cette ingénieuse solution, dont l'idée première est due, si nous ne nous trompons, à M. l'ingénieur en chef Colomès de Juillan, a permis de réduire les travaux proprement dits à de la main d'œuvre et à quelques transports de tuyaux métalliques et de ciment. On était sûr d'ailleurs de la valeur de la digue future, puisqu'elle était formée d'un granit compact dont l'existence immémoriale du lac attestait l'imperméabilité.

On avait projeté d'abord d'opérer la vidange à l'aide de siphons, mais on y a renoncé à cause de la difficulté qu'entraîne l'amorçage d'une conduite de ce genre à de semblables hauteurs (2000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer), alors que les joints ont à subir chaque année les effets de variations de température très considérables. Ajoutons qu'un siphon n'aurait permis qu'un emprunt de 7 à 8 mètres de hauteur, et que ce cube minime de l'emprunt n'eût peut-être pas justifié les faux frais de l'entreprise.

806. Réservoirs du Rio-Rimac au Pérou. — Au Pérou, où le versant des Cordillères qui tombe sur l'océan Pacifique est dépourvu de cours d'eau réguliers, on a dû recourir pour l'alimentation des villes de Lima et du Callao, ainsi que pour

les besoins agricoles du territoire avoisinant, à l'eau de lagunes situées en pleine montagne à 4.500 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. A cette altitude, et sous ce climat, il gèle souvent pendant la belle saison, tandis que le reste de l'année voit sans cesse de la pluie, de la neige et des orages. Les tremblements de terre sont fréquents et les chemins assez escarpés pour qu'il soit impossible d'y transporter des objets d'un poids supérieur à 150 kilos.

On conçoit la difficulté qui résultait de cet état de choses pour la construction de murs de réservoirs en maçonnerie. On y a renoncé et on a préféré vider les lagunes en coupant la digue naturelle de chacune d'elles, sur des hauteurs variables de 5 à 17 mètres. Le barrage de cette étroite tranchée a été ensuite reconstitué à l'aide de poutres horizontales en fer, s'appuyant sur deux contreforts maçonnés, solidement encastrés dans les talus de la tranchée. Des vannes placées à la partie inférieure du barrage servent à pratiquer les emprunts à cette réserve, qui s'élève jusqu'à 40 millions de mètres cubes.

D'après les renseignements contenus dans la chronique des *Annales* de 1877 (février), les pièces horizontales qui supportent la retenue sont de simples fers à T hauts de $0^m,30$ à $0^m,32$, et espacés seulement de $0^m,38$ d'axe en axe. Elles supportent un revêtement en fer, feutre et bois, qui remplit les conditions d'étanchéité que réclame la retenue, et le système ainsi composé a pu se transporter pièce par pièce jusqu'aux hauteurs où s'est effectué le montage.

Souterrains.

Nous avons cru devoir rapporter cet exemple qui, avec celui du lac Bleu, ouvre une voie nouvelle pour l'usage des réservoirs dans les contrées d'un accès difficile, et nous pensons qu'il y a, là encore, une question d'avenir à ne pas négliger.

Les souterrains qui se construisent sur les canaux sont à peu près identiques à ceux qui desservent les chemins de fer; ils sont toutefois beaucoup moins nombreux, et cette considération nous autorise à renvoyer à un autre ouvrage pour tout

ce qui regarde leur exécution. Nous nous bornerons, en conséquence, à apprécier les données premières suivant lesquelles ils doivent être projetés, et nous ne nous occuperons pas des procédés à employer pour leur établissement.

807. Ouverture. — Quel que soit le mode suivi, les difficultés augmentent avec la largeur à assigner à la voûte, et il est utile de ne pas s'écarter, autant que faire se peut, des errements adoptés pour les chemins de fer, afin de pouvoir recourir aux mêmes moyens d'exécution. Dans ces travaux délicats, l'expérience est le meilleur guide, et elle ne donne de renseignements vraiment sûrs que quand le point de départ est le même.

Les souterrains des chemins de fer doivent avoir 8 mètres au niveau des rails, et il s'ensuit pour la largeur du vide un diamètre variable entre 8 mètres et 8m,70, suivant que les pieds-droits ont un fruit ou sont verticaux. Nous pensons que les souterrains des canaux doivent se placer dans les mêmes conditions, et nous leur supposerons une voûte de 8 mètres à 8m,50 d'ouverture.

808. Chemin de halage. — Un chemin de halage est évidemment nécessaire. Il sera longtemps encore très utile de laisser au trafic la faculté d'user sous les voûtes de son mode habituel de traction en pleine voie, et nous admettrons, par suite, un chemin de halage susceptible de recevoir une bête de somme, c'est-à-dire ayant au minimum 1m,40. On le placera du côté du halage et à telle hauteur que 3 mètres demeurent libres sous la voûte sur 1 mètre de largeur au moins, à partir de l'arête qui borde la cuvette.

809. Largeur de la cuvette. — Il restera alors de 6m,60 à 7m,10 pour la largeur du canal proprement dit, à la hauteur du chemin de halage, et il sera préférable, croyons-nous, d'attribuer au passage des bateaux toute cette largeur, c'est-à-dire le plus possible, plutôt que de chercher à établir un marche-pied sur l'autre pied-droit du souterrain, en restreignant la cuvette. Le transit, dans un souterrain, est forcément réglementé

par convois marchant alternativement dans les deux sens, et un seul chemin de halage peut d'autant mieux suffire que, presque toujours, le trajet est rectiligne. Ce qu'il faut assurer aux bateaux qui cheminent ainsi dans l'obscurité, c'est de l'espace autour de leur coque, autant que possible dans tous les sens, afin d'éviter à la fois les chocs contre la paroi et la difficulté de traction résultant du rétrécissement.

Dans cet ordre d'idées, toutes les fois qu'une nécessité technique ne commande pas de faire autrement, il y a lieu de préférer les pieds-droits verticaux aux pieds-droits avec fruit. Dans ce dernier cas le frottement des bateaux se produit sous l'eau et en un point assez délicat, l'arête du flanc et de la sole, tandis que dans le premier c'est le plat bord qui heurte une partie de maçonnerie visible. L'avarie se répare alors sans difficulté; elle se prévient même très aisément, en armant le bateau vers la flottaison de défenses en cordes, qui amortiront les chocs possibles et les rendront inoffensifs.

810. Profondeur de la cuvette. — La largeur de la cuvette ainsi déterminée, sa profondeur sera telle que la règle que nous avons posée pour les passages rétrécis soit applicable. La section mouillée du canal sera, autant que possible, égale à deux fois la section mouillée du bateau. Si cette règle est utile dans les passages rétrécis de faible longueur et où le jour pénètre, elle devient indispensable dans un souterrain un peu long où, ainsi que nous l'avons dit, les ondes se répercutent d'un bout à l'autre du bief et influent d'une manière notable sur la section mouillée.

On ne perdra pas de vue également que les souterrains des canaux font presque toujours partie des biefs de partage; et qu'à ce titre ils sont exposés à des déperditions nombreuses, qui font varier leur niveau dans de fortes proportions. C'est une raison de plus pour y augmenter le mouillage au delà même de ce qu'exigent les considérations qui précèdent, soit par un relèvement possible du niveau de l'eau, soit par un approfondissement de la cuvette. En général, le mouillage dans un souterrain devra être supérieur d'au moins un mètre à celui que comporte ailleurs le canal qui le traverse.

811. Touage dans les souterrains. — Nous terminerons en disant que, quoi qu'on fasse, la navigation en souterrain est toujours lente, incommode et par cela même réglementée. Il y a tout intérêt, par suite, dès que le canal a acquis une fréquentation qui le mérite, à établir sur ces points spéciaux un service de remorque ou de touage, à l'aide duquel les passages s'effectuent sans encombrement. On en trouvera divers exemples au canal Saint-Martin à Paris, au canal de Saint-Quentin et au canal de Bourgogne, où le souterrain de Pouilly est ainsi desservi.

CHAPITRE XXVI

DE L'ENTRETIEN ET DE L'EXPLOITATION DES CANAUX

COMPARAISON ENTRE LES CHEMINS DE FER ET LES CANAUX

SOMMAIRE :

§ 1er. *Entretien des canaux.* — 812. Principales opérations d'entretien.

Curages.

813. Causes d'altération du profil. — 814. Moyen de diminuer les dépôts résultant de l'alimentation. — 815. Moyens d'empêcher les talus de s'altérer. — 816. Curage par terrassements ordinaires. — 817. Dragages à la main. — 818. Emploi des machines à draguer.

Faucardage.

819. Végétation aquatique. — 820. Procédés de coupe. — 821. Enlèvement des herbes. Époque des coupes. — 822. Coupe à sec.

Plantations.

823. Rôle des plantations. — 824. Soins à donner aux plantations. — 825. Rideau contre le vent. — 826. Unité d'essence. — 827. Coupes complètes et méthodiques.

Chômages.

828. Avantages des chômages. — 829. Origine des chômages généraux. — 830. Tendance à la suppression des chômages. — 831. Nécessité de mesures transitoires. — 832. Moyens de faciliter les chômages partiels. — 833. Les chômages généraux devront durer quelque temps encore. — 834. Époque à choisir pour les chômages généraux. — 835. Mesures administratives concernant les chômages. — 836. Simultanéité ou échelonnement des chômages. — 837. Inconvénients de l'échelonnement. — 838. Résumé. — 839. Chômage par les glaces. — 840. Procédés d'ouverture d'un chenal dans les glaces. — 841. Bateau brise-glaces.

§ 2. *Exploitation des canaux.* — 842. Questions à examiner.

Matériel flottant.

843. Tonnage des bateaux. — 844. Solidité des bateaux. — 845. Vitesse de marche. — 846. Moyens de gagner du temps. — 847. Exploitation par bateaux à vapeur.

Dispositions destinées à faciliter l'embarquement et le débarquement des marchandises.

848. Inconvénients de l'état de choses actuel. — 849. Ports particuliers. Grues et voies ferrées. — 850. Ports publics. — 851. Garde-ports.

Mesures d'ordre et de police destinées à assurer le fonctionnement des canaux.

852. Règlement type. — 853. Conditions à remplir pour naviguer. — 854. Classement des bateaux. — 855. Marche des bateaux. — 856. Passage des souterrains. — 857. Mesures d'ordre pour le stationnement. — 858. Interdictions et prescriptions. — 859. Juridictions et dispositions exceptionnelles.

§ 3. *Comparaison entre les chemins de fer et les canaux.* — 860. Sujétions principales de la navigation. — 861. Sujétions moindres des chemins de fer. — 862. Prix relatif des transports. — 863. Conditions d'une concurrence possible. — 864. Exemples. — 865. Avenir de la navigation. — 866. Motifs de cet avenir. — 867. Conclusion en ce qui concerne la construction des canaux.

Petites planches :

Perrés à pierres sèches en moellon de Tournai, art. 815. — Perrés en moellons bruts de Cherbourg, art. 815. — Bateau brise-glace, art. 841.

§ I^er^

ENTRETIEN DES CANAUX

812. Principales opérations d'entretien. — Les canaux, une fois construits, ont besoin d'un entretien continu, si l'on veut que leur état de navigabilité se maintienne dans des conditions satisfaisantes. Sans parler des réparations courantes, qui leur sont plus nécessaires qu'aux travaux publics d'une autre nature, parce qu'ils sont exposés d'une manière constante à l'action des eaux, ils ont des causes spéciales de détérioration, qui dérivent de leur fonctionnement même, et donnent naissance à deux opérations spéciales dont nous parlerons d'abord ; ce sont les curages et les faucardages. Les plantations y jouent aussi un rôle particulier, dont nous dirons quelques mots ; et, enfin, à la possibilité d'exécuter les réparations et remplacements qu'entraîne l'usure, se rattache la question des chômages qui a un grand intérêt commercial. Nous passerons en revue ces divers sujets.

Curages.

813. Causes d'altération du profil. — Les eaux d'alimentation, animées d'une certaine vitesse dans les rigoles qui les transportent, demeurent presque stationnaires dans la cuvette du canal, et y laissent tomber les troubles dont elles étaient chargées. C'est un effet inévitable ; et, de ce chef, naît sur le fond un certain dépôt, dont le maximum se trouve à la prise d'eau même, et va en décroissant sur les quelques kilomètres qui suivent.

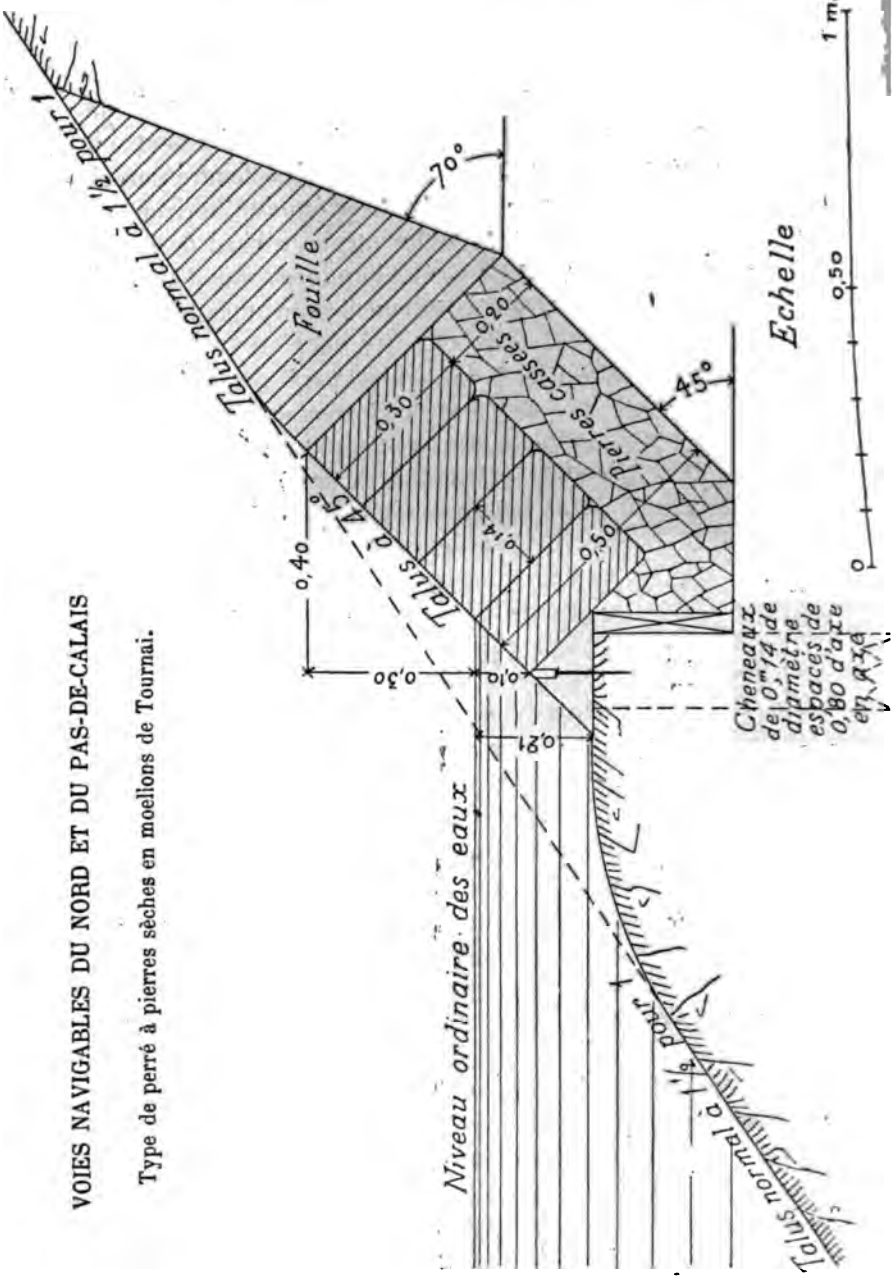
Cette cause d'altération du profil n'est pas la seule. Au niveau normal des eaux, le batillage, l'onde formée par le passage des bateaux, l'action successive de l'air et de l'eau, amènent des érosions ; la terre empruntée à la partie supérieure des berges glisse jusqu'au plafond, et renforce le pied du talus, de telle sorte que, par ce double motif, le profil primitif se transforme en une courbe irrégulière, dans laquelle deux bateaux chargés qui se croisent ne trouvent plus une largeur suffisante au plafond, tandis que le tirant d'eau, même au milieu, va sans cesse en diminuant.

Dans les courbes, l'effet s'accentue par le frottement du bord inférieur des bateaux, que le halage attire vers la rive convexe, et qui, dans la partie haute lorsqu'ils sont vides, dans la partie basse lorsqu'ils sont pleins, creusent sur le talus des sillons indéfiniment répétés qui en modifient l'inclinaison, toujours pour déblayer le haut et remblayer le fond.

De là nécessité de dragages périodiques, pour rendre à la circulation l'espace qu'elle a perdu.

814. Moyen de diminuer les dépôts résultant de l'alimentation. — Tout d'abord, pour diminuer autant que possible ces dragages, il convient d'adopter certaines mesures qui sont de nature à atténuer les dépôts formés par l'eau d'alimentation.

Ainsi, on ne fera pas déboucher directement la rigole alimentaire dans le canal, mais dans un élargissement formant, hors de la cuvette, une sorte de bassin de dépôt où s'effectuera la première épuration. L'alimentation n'étant jamais constante,



VOIES NAVIGABLES DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

Type de perré à pierres sèches en moellons de Tournai.

il sera plus facile de nettoyer le bassin de dépôt qu'un bief; quand on y travaillera, on ne gênera pas la navigation.

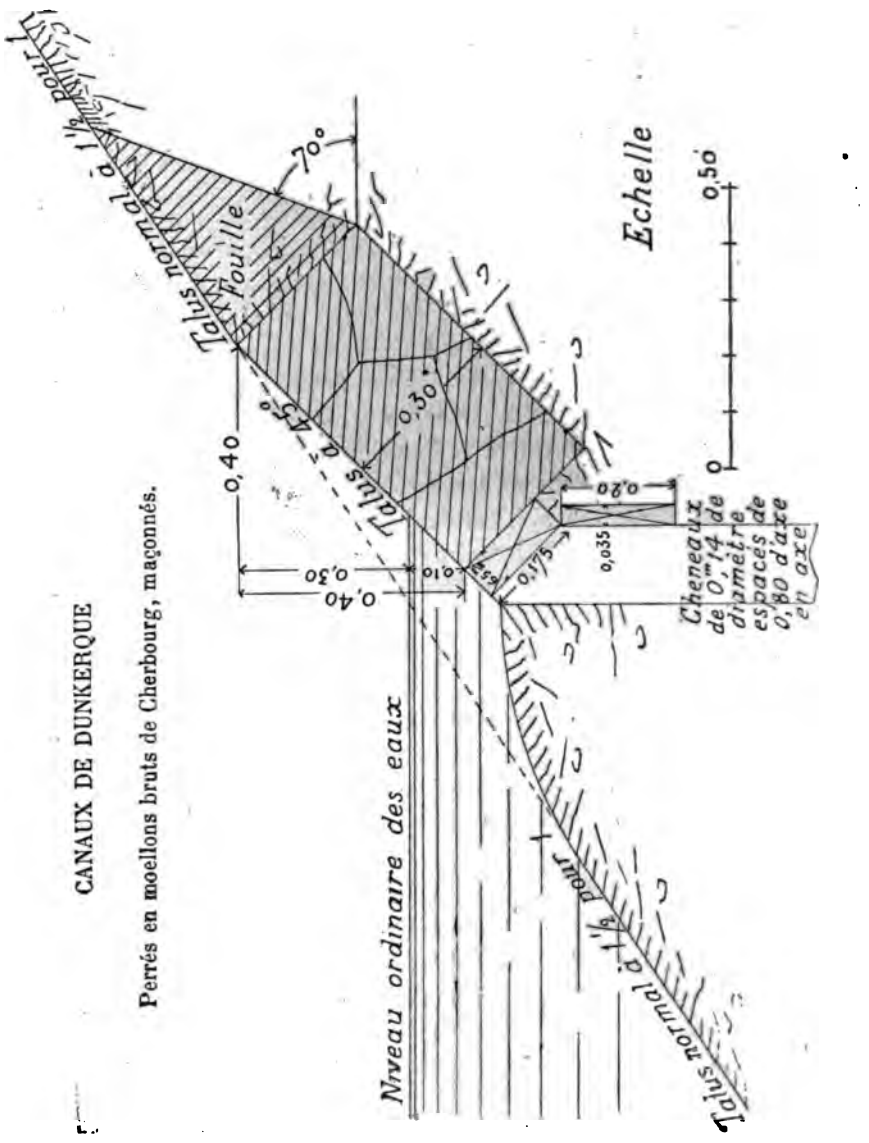
815. Moyen d'empêcher les talus de s'altérer. — En second lieu, on s'efforcera de protéger, au niveau normal de l'eau, la paroi du canal contre les érosions. Nous avons vu, en nous occupant de la construction, que pour se défendre contre le batillage, on coupait par une petite banquette horizontale l'inclinaison des talus, un peu au-dessous du niveau de l'eau. Cette banquette, pour se maintenir, a besoin parfois d'être revêtue, ainsi que les talus qui l'avoisinent, sur quelques décimètres. On y place alors, soit un perré en pierre sèche, soit des piquets avec clayonnages. La pousse des clayons n'est pas à redouter parce que les racines, en se développant, consolident le sol ; tandis que la navigation n'est pas arrêtée par les branches, si l'on prend la précaution de les couper aussitôt qu'elles deviennent assez longues pour gêner le halage. Dans le même ordre d'idées, il est évident qu'il faut favoriser plutôt que détruire la végétation aquatique qui se produit spontanément sur cette partie du profil, les roseaux par exemple, puisqu'ils remplissent le même rôle protecteur. On se borne à les couper aussitôt que leur développement devient gênant.

Enfin, l'attaque des talus convexes par les bateaux ne s'évite pas, mais s'atténue par l'adoption de courbes à grand rayon, si faire se peut, ou par des élargissements bien accusés là où le tracé exige une forte courbure.

Quand la circulation est très importante, et la voie d'eau sans largeur, on peut avoir recours à des consolidations locales artificielles, qui ménagent mieux l'espace disponible; il ne sera pas inutile de faire connaître ce qui a été fait, sous ce rapport, sur les voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais pour prévenir les dégradations de canaux anciens et très fréquentés.

Le type de défense le plus employé est représenté dans la figure ci-contre.

Ainsi qu'on le voit, le perré, incliné à 45°, est fondé un peu au-dessous du niveau normal, et s'appuie sur un chapeau triangulaire en bois que supportent des piquets en chêne. Le pa-



CANAUX DE DUNKERQUE

Perrés en moellons bruts de Cherbourg, maçonnés.

rement, en moellons d'assise, repose sur une couche de pierre cassée que retient un madrier placé verticalement le long des piquets. Tout le système se trouve ainsi en arrière du talus normal de la berge ; et le raccordement s'effectue par une sorte de banquette courbe régnant de $0^m,20$ à $0^m,30$ au-dessous du niveau ordinaire des eaux.

A cette profondeur, le travail peut s'exécuter en eau haute sans gêner la navigation, à l'aide de petits bâtardeaux qui sont payés 1 fr. 50 le mètre courant, épuisements compris. La dépense dans ces conditions est de 12 fr. par mètre de berge défendue.

Toutefois, MM. les ingénieurs ont constaté que la fondation avait parfois à souffrir. Le chapeau triangulaire placé sur la tête des pieux facilite, il est vrai, l'exécution d'un travail régulier ; mais, fixé à l'aide de pointes dans du bois debout, il a été sur plusieurs points poussé en avant et paraît n'avoir pas toute la solidité désirable. On préfère aujourd'hui lui substituer un madrier en pitch-pine incliné à 45°, reportant mieux sur les pieux le poids du perré. Le prix est sensiblement le même. Cette disposition a été appliquée aux canaux de Dunkerque, avec un perré maçonné en moellons non appareillés ; elle est représentée dans la figure ci-jointe.

Sur le canal de la Deule, à défaut de moellons, on a eu recours à un perré en briques maçonnées de $0^m,22$ d'épaisseur seulement, ce qui a abaissé le prix à 9 fr. On estime toutefois que ce genre de revêtement exige un peu plus d'entretien, les coups de gaffe des mariniers pouvant briser les briques.

Sur les canaux de Dunkerque, creusés dans un sable fluide, ce sable a une tendance à couler au-dessous du coffrage ; et si un vide s'y produisait, les perrés ne tarderaient pas à s'affaisser. On évite les accidents de ce genre en formant la risberme de marne menue, appelée caplain dans le pays, que l'on jette en avant du perré.

Ce moyen de défense, à l'aide de pierres cassées répandues sur le talus attaqué, a été aussi employée avec succès aux canaux du Centre et du Berry.

816. Curage par terrassements ordinaires. — Quoi qu'on fasse, l'expérience prouve que les envasements sont inévitables ; et les moyens préventifs étant insuffisants, un curage devient nécessaire de temps en temps. C'est une opération qui présente plus de difficultés qu'on ne le penserait au premier abord.

Un premier procédé, qui n'est plus usité, consistait, sur les canaux où les chômages annuels sont inévitables, à enlever les déblais par les procédés ordinaires de terrassement, lorsque le canal était à sec. Les chômages étant généralement occasionnés par un manque d'eau d'alimentation, coïncidaient avec les sécheresses, c'est-à-dire avec les chaleurs ; et l'on conçoit combien semblable opération était malsaine pour ceux qui la pratiquaient, et pour les habitations voisines. On y a renoncé presque partout pour recourir aux dragages, qui, s'effectuant en toute saison, ne présentent pas les mêmes dangers.

817. Dragages à la main. Sur quelques points, les dragages se font encore à bras, et ce procédé a sa raison d'être partout où se rencontrent des dépôts accidentels d'une importance trop faible pour motiver l'envoi d'une machine. On y trouve bien cet inconvénient que l'emploi de la drague à main est difficile quand le froid est un peu vif; mais le reste du temps il est praticable ; l'été même, l'intérêt hygiénique en jeu est faible quand l'opération est restreinte, ce qui est notre hypothèse. Il est donc sage, en vue de ces cas particuliers qui sont nombreux, de conserver le matériel nécessaire, et une équipe qui sache l'utiliser ; on évitera à la navigation les interruptions accidentelles auxquelles elle se trouve souvent exposée sur les canaux anciens, et même sur ceux qui ont été l'objet de transformations plus ou moins complètes à une époque récente.

818. Emploi des machines à draguer. — Reste pour les curages importants l'emploi des machines, emploi qui ne présente pas tous les avantages qu'on pourrait, à première vue, espérer en retirer.

Les dragues à chapelet ou à cuiller sont, en effet, des ins-

truments puissants, mais un peu brutaux. Leur fonctionnement n'est économique que quand on a à attaquer un dépôt important, dans lequel les godets peuvent mordre en creusant un sillon profond et continu. Or, il n'en est pas ainsi dans un canal; il faut, au contraire, recueillir çà et là, par places, une mince couche de vase inégalement répartie sur le plafond, et dont l'enlèvement exige des déplacements réitérés. De ce fait seul résulte une très notable augmentation sur les prix habituels du dragage.

Il est difficile, d'ailleurs, de limiter à un plan horizontal l'action des machines. Tout ce qui reste au-dessus du plafond normal peut être une gêne; tout ce qui descend au-dessous peut être une cause sérieuse de déperditions. Nous savons que les canaux, lorsqu'ils sont neufs, laissent échapper par filtration un cube d'eau très considérable, et ne s'étanchent qu'avec le temps, grâce aux dépôts qui impreignent et recouvrent leur paroi. Attaquer ces dépôts est donc toujours diminuer l'étanchéité de la cuvette; et le mal devient encore plus fort, lorsqu'en dépassant le plafond normal on met à découvert une couche de terre non colmatée et ayant la perméabilité primitive. Aussi sera-t-il sage de ne recourir aux dragages que quand on y sera forcé, et, tant que les dépôts resteront dans une limite qui le permettra, de regagner le tirant d'eau perdu par une légère surélévation du niveau normal, si faire se peut.

Quand les dragages deviennent absolument nécessaires, il est bon de n'y procéder qu'avec la plus extrême prudence, en faisant choix d'engins qui n'agissent qu'à une profondeur limitée, comme le fait la drague Perris, dont la description se trouve dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (1871, 2e semestre). Cet outil, dont l'emploi commence à se développer sur les canaux, a besoin encore de beaucoup de perfectionnements; mais il est conçu dans un ordre d'idées justes en matière d'entretien de canaux, et doit avec le temps et la pratique donner de bons résultats.

Cette discussion fait comprendre, en outre, l'avantage qu'on peut retirer, au point de vue de l'alimentation, d'une cuvette de canal large et profonde, puisqu'il est possible, en pro-

cédant aux curages, de respecter partiellement au moins les dépôts, c'est-à-dire un étanchement spontané toujours efficace.

Faucardage.

819. Végétation aquatique. — Indépendamment des plantes qui poussent à fleur d'eau sur les talus des canaux, il croît sur le plafond une végétation aquatique, qui donne naissance à des frottements nuisibles à la marche des bateaux, nuisibles surtout aux bateaux à vapeur, et principalement à ceux qui ont des propulseurs à hélice. Il est indispensable de couper ces herbes aussitôt qu'elles ont pris un développement susceptible de nuire, c'est-à-dire ordinairement pendant l'été.

820. Procédés de coupe. — Divers moyens sont employés pour y arriver. Tantôt on promène dans le canal une sorte de faux triangulaire à bords aiguisés, que de légères chaînes laissées à la traîne maintiennent sur le plafond pendant qu'on tire l'appareil de la rive, en lui imprimant une succession de secousses (Voir *Annales* de 1832, 1er semestre, M. Marquelez); tantôt c'est une chaîne de faux comme celle qui est décrite au même recueil (1852, 1er semestre, M. Tarbé de Saint-Hardouin) qui scie les herbes sur tout le périmètre de la section, lorsqu'on lui imprime un mouvement de va et vient tout en progressant. Quel que soit le moyen choisi, cette coupe se pratique assez facilement; il suffit de créer dans le canal, en entr'ouvrant les ventelles des écluses, un léger courant qui donne aux herbes une faible inclinaison d'amont en aval, pendant qu'on manœuvre l'instrument d'aval en amont; la section s'opère alors vite et bien.

821. Enlèvement des herbes. Époque des coupes. — La difficulté est dans l'enlèvement de ces herbes, qui tantôt flottent et tantôt ne flottent pas. Dans le premier cas, rien de plus simple que de les rassembler et de les tirer sur la berge; dans le second, on est forcé de recourir à des filets dont la ma-

nœuvre est d'une grande difficulté, pour peu que les herbes soient abondantes ; mais on ne peut se dispenser de le faire, si l'on ne veut pas laisser les herbes s'engager dans les ventelles, se loger derrière les portes d'écluse, et même se réunir en une masse susceptible d'arrêter les bateaux. On a cru reconnaître que ces plantes flottaient lorsqu'elles n'étaient pas arrivées à maturité, et s'immergeaient au contraire quand la saison était plus avancée. En outre, la croissance serait plus rapide et la production plus abondante, là où le soleil peut frapper l'eau, c'est-à-dire sur les parties où les plantations ont été abattues. Il importe de vérifier ces deux observations, car si elles sont exactes, elles conduisent à effectuer le faucardement aussitôt que les herbes ont assez poussé pour recevoir la faux, et à commencer par les parties les plus exposées au soleil, dût-on plus tard renouveler l'opération.

822. Coupe à sec. — Nous ne citons que pour mémoire le procédé qui consiste à enlever cette végétation pendant le chômage, alors que l'absence d'eau dans le canal l'a couchée sur le sol, et en facilite la destruction. Employé autrefois sur bien des points, ce procédé à donné lieu aux réclamations les plus énergiques de la part des possesseurs d'habitations riveraines ; et il faut reconnaître qu'en l'employant, l'Administration non-seulement s'attirerait des plaintes légitimes, mais encore irait contre son rôle en matière d'hygiène.

Plantations.

823. Rôle des Plantations. — Les arbres remplissent sur les canaux une destination complexe. Leurs racines consolident le sol des levées, leur feuillage abrite les haleurs et préserve la terre des gerçures pendant la saison d'été, en même temps qu'il favorise la croissance d'un gazon utile au même point de vue. Les vents violents qui, dans certaines contrées, poussent les bateaux à la rive, et par cela même augmentent l'effort de halage, peuvent être combattus par une plantation en rideau ; et, enfin, la présence constante de l'eau

développe la végétation d'une manière si rapide, que l'on peut tirer d'une exploitation régulière des produits un revenu susceptible de compenser dans une large mesure, les dépenses d'entretien.

824. Soins à donner aux plantations. — On trouvera dans le *Manuel d'Arboriculture* de M. du Breuil (ouvrage donné par l'Administration à tous les bureaux d'Ingénieurs), les renseignements les plus précis sur les avantages de chaque essence, sur les soins à donner aux sujets, sur la manière d'établir et de conduire les pépinières, de transplanter, de défendre et de diriger les jeunes arbres, en sorte que nous renvoyons à ce livre essentiellement pratique, et d'une autorité incontestée. Nous ferons remarquer, en outre, que, avec les changements de personnel auxquels les services sont exposés, il convient, dans l'intérêt des plantations, d'éviter les inconvénients qui ne pourraient manquer de résulter de plusieurs manières de faire. On adoptera donc une méthode unique; et cette méthode est tout naturellement celle que l'Administration a recommandée, et dont l'expérience a consacré la valeur. Nous nous bornerons dès lors à insister sur quelques détails, au point de vue de l'utilisation de la plantation.

825. Rideau contre le vent. — Pour éviter la gêne qui résulte du vent par le travers, dans les contrées où les vents régnants ont cette orientation, le meilleur rideau (quand le sol s'y prête) se forme avec un semis d'arbres verts. Lorsque les sujets ont atteint quelques mètres, les basses branches se rejoignent et se croisent, formant une véritable zône de calme au niveau du sol. En Provence, les propriétés particulières se défendent de cette manière contre l'influence parfois désastreuse du mistral. On trouve encore un rideau de ce genre sur diverses parties des canaux qui traversent la Champagne.

826. Unité d'essence. — Il est rare qu'une alternance d'espèces réussisse, parce que le développement n'étant pas simultané, l'espèce la moins prompte est atrophiée par l'autre

Il y a perte pour la production de bois, en même temps qu'absence de continuité dans l'ombrage.

827. Coupes complètes et méthodiques. — Dans le même ordre d'idées, il est utile de n'avoir sur une même ligne d'une certaine étendue que des sujets du même âge, afin qu'il y ait une égale répartition de soleil, d'air et de nutrition. Il suit de là que les coupes successives que l'on pratiquera devront être complètes, et laisser le canal à nu, pour que le remplacement y soit simultané. Sans doute, cette partie du parcours sera plus désarmée, mais la circulation se règlera sur cette donnée et choisira son moment dans la journée. Il conviendra, d'ailleurs, de suivre dans les abattages un ordre méthodique, afin de faciliter aux mariniers, qui suivent avec intérêt ces transformations, le choix de leurs heures de passage, de repas et de séjour, suivant les circonstances du moment. Il va sans dire que cette disposition entraîne un ordre à peu près analogue dans la plantation des arbres, et exige par suite que l'on songe à la coupe dès le moment où l'on plante.

Chômages.

828. Avantages des chômages. — Le besoin de réparation des ouvrages noyés d'un canal maintenu constamment à son niveau normal, ne peut en général s'apprécier que par la constatation d'avaries assez fortes pour devenir apparentes, c'est-à-dire quand le mal a déjà pris un notable développement. Il est impossible, d'ailleurs, de prévenir les accidents en consolidant les parties qui ne font que menacer, puisqu'on ne les voit pas; tandis qu'en vidant le canal on peut suivre et toucher sa paroi, remédier à ce qui souffre et faire commodément, économiquement et vite, tout ce que réclame un bon état d'entretien.

829. Origine des chômages généraux. — D'autre part, un grand nombre de canaux à point de partage manquaient, il y a peu de temps encore, d'eau pendant les sécheresses, et

la navigation y était forcément suspendue. On conçoit, dès lors, comment est venue tout naturellement à l'esprit la pensée d'utiliser ce repos forcé pour réparer tout ce qui était en souffrance, en rendant le chômage complet sur toute la ligne pendant la période de sécheresse.

Les canaux voisins, s'ils étaient plus favorisés sous le rapport de l'alimentation, n'en faisaient pas moins coïncider leur chômage avec celui du canal vide, afin d'utiliser les temps d'arrêt imposés à la navigation sur leurs tenants et leurs aboutissants, de telle sorte qu'un chômage général s'établissait dans toute une région de la manière la plus logique et la mieux motivée. On en choisissait l'époque de façon à concilier le mieux possible les intérêts en présence; et le commerce, averti, prenait ses dispositions pour effectuer ses envois en saison favorable.

330. Tendance à la suppression des chômages. — Aujourd'hui, l'alimentation des canaux s'est beaucoup développée, et n'a plus nécessité les mêmes interruptions. D'un autre côté, le commerce intérieur, en prenant une grande extension, s'est refusé à cette cessation périodique et parfois prolongée des relations; il a demandé avec instance la continuité de la navigation et l'opinion publique a partagé ce sentiment. Les chômages généraux tendent donc à disparaître, et doivent devenir de plus en plus rares, de moins en moins prolongés.

331. Nécessité de mesures transitoires. — Toutefois il est nécessaire de ne pas brusquer la transition, si l'on ne veut donner naissance à de très sérieux inconvénients.

Si les chômages généraux peuvent disparaître, il n'en est pas de même des chômages partiels et locaux. On aura toujours, avec l'action des pluies, et surtout avec celle des gelées, avec l'usure des engins mobiles, avec le développement de la circulation sur le canal ou sur les voies qui le touchent, des avaries à réparer sous l'eau et des améliorations à apporter aux ouvrages qui sont fondés dans la cuvette. Il faudra par suite intercepter le passage, soit en vidant le bief à mo-

difier, soit en y établissant des bâtardeaux; et ces interruptions, si elles se répétaient, finiraient par produire les mêmes retards qu'un chômage général. Elles auraient, en outre, le tort grave d'être imprévues, ce qui, en matière commerciale, pèse d'un grand poids dans la balance, et veut surtout être évité.

Avec le chômage général, cette crainte était singulièrement réduite. La visite annuelle permettait de réparer les avaries naissantes, de s'assurer du bon état de tous les ouvrages, et augmentait ainsi beaucoup la probabilité d'une bonne navigation pendant le reste de l'année.

832. Moyens de faciliter les chômages partiels. -- De là suit, pour que l'on puisse supprimer les chômages généraux, la nécessité d'amener les canaux à un état d'entretien plus soigné qu'au moment où on pouvait les visiter tous les ans; puis de préparer, sur toute leur étendue, la possibilité d'y pratiquer le plus possible des renouvellements sans chômages; et, au besoin, si l'on ne peut s'en passer, de réaliser des chômages locaux faciles et rapides. Nous citerons un certain nombre de modifications qui seraient à établir dans ce but.

Les radiers des écluses avec leurs faux buscs, les voûtes d'aqueduc, les perrés aux abords des ponts et des écluses, et en général toutes les maçonneries noyées devront être mis en très bon état; les matériaux dont on fera usage répondront à l'idée d'un emploi définitif, ou au moins d'un entretien à longue période.

Les portes d'écluse seront d'un type uniforme sur une même ligne navigable, afin que les rechanges puissent prendre exactement la place des pièces à remplacer. Colliers, tourillons et ventelles seront disposés pour que les changements puissent s'effectuer sans chômage. Des appareils de levage et des approvisionnements suffisants seront toujours prêts pour le cas de besoin.

L'emploi du scaphandre sera prévu dans une large mesure, et des équipes d'éclusiers et de gardes seront exercées en vue d'un fréquent usage de cet outil.

On multipliera, sur l'étendue du canal, les moyens d'évacuation des eaux, et la possibilité d'établir des bâtardeaux. Ceux-ci seront, autant que faire se pourra, comme les portes, d'un type uniforme, afin que leur pose et leur dépose soit une opération courante, à laquelle le personnel soit habitué.

En un mot, dans la préparation des chômages partiels, tout en cherchant à les éviter, on ne perdra pas de vue qu'un retard de quelques heures est toujours admissible, parce que le temps perdu se regagne le matin ou le soir; qu'une journée tout entière d'arrêt s'accepte plus difficilement; et qu'un repos forcé de plusieurs jours soulève toujours des réclamations, s'il n'y a pas cas de force majeure. Or, la force majeure est souvent discutée; et les tribunaux administratifs se montrent parfois sévères au sujet de son admission. On a donc tout intérêt à agir vite, en s'y préparant à l'avance.

833. Les chômages généraux devront durer quelque temps encore. — Ce futur état de choses, qui nous paraît être la conséquence logique de la suppression des chômages annuels, demandera pour s'établir du temps ainsi que des sacrifices d'argent; il exigera, en outre, sur beaucoup de canaux, surtout avec l'augmentation du tirant d'eau qui a été résolue en 1878, un complément d'alimentation qui ne se réalisera pas en un instant, de telle sorte que nous sommes ramenés à l'étude des chômages généraux, dont il sera probablement difficile de se passer d'ici à longtemps encore.

834. Époque à choisir pour les chômages généraux. — La première question qui se pose est la détermination de l'époque à laquelle il convient de les placer; et, il faut le dire, le choix est très discutable et discuté.

Là où l'eau fait défaut pendant la saison sèche, il est tout naturel de placer le chômage au moment où les sources sont à leur minimum, soit en août et septembre. On fait ainsi coïncider l'interruption nécessaire avec l'interruption utile; on peut ajouter que la saison se prête bien aux travaux, et que les épuisements auxquels on a presque toujours besoin de recourir sont moins dispendieux et ont moins d'imprévu.

D'autre part, à cette époque, les jours commencent à diminuer; les travaux de la campagne font aux chantiers une concurrence redoutable; et, surtout, le plus grave écueil se trouve dans la difficulté du remplissage, pour peu que les sécheresses se prolongent. Nous avons vu, à propos de la construction des canaux, combien le remplissage absorbait de temps et d'eau; il s'ensuit une incertitude absolue sur l'époque de la reprise de la navigation, quand elle doit avoir lieu à la fin de l'été; et l'on a vu des canaux demeurer en chômage en novembre, en décembre, et même au delà, malgré les efforts les plus énergiques dans l'emploi des moyens artificiels.

Dans les pays où l'eau abonde, pays de plaine d'ordinaire et où l'agriculture a reçu un grand développement, les besoins ne sont pas les mêmes. La concurrence agricole, l'été, est telle qu'il y a intérêt sous tous les rapports à l'éviter; et il y aurait avantage à choisir le mois de mai. A ce moment, les jours sont longs, beaucoup de bras sont disponibles; et, si les eaux sont assez abondantes pour gêner parfois, il est aisé, avec les progrès de l'industrie, de se procurer la force motrice nécessaire aux épuisements. Il y a, d'ailleurs, à peu près certitude que, dans le commencement de juin, le remplissage sera prompt et facile. Dans le nord, où cette manière de voir compte beaucoup de partisans, on ajoute que les canaux servant d'écoulement aux résidus de nombreuses industries, la baisse des eaux, si elle coïncide avec les chaleurs, donne lieu à des émanations insalubres.

A ces raisons, qui ont une valeur réelle, on oppose l'intérêt commercial qui veut qu'après les chômages occasionnés par les glaces de l'hiver sur les canaux, et par les crues du printemps sur les rivières du réseau, on puisse au moins, avant le chômage d'été, profiter de la période où la navigation peut être considérée comme bonne partout. Enlever cette époque au trafic, c'est lui ôter la seule sécurité dont il jouisse; c'est accorder une trop grande importance aux raisons invoquées. Les ouvriers étrangers peuvent, en effet, remplacer ceux qui, dans le pays, font défaut; quant aux considérations hygiéniques, en réduisant les étendues asséchées, en ne vidant la cuvette jusqu'au fond que sur quelques points exceptionnels,

on peut atténuer le mal dans une large mesure, sinon le faire disparaître.

Si, d'ailleurs, on envisage la question au point de vue du réseau tout entier et des longs parcours, il y a intérêt évident à ce que les chômages coïncident le mieux possible; car on ne peut exposer les bateaux à rencontrer, pendant la belle saison, une succession d'obstacles qui soit équivalente à un arrêt. Aussi l'Administration, prenant en considération les raisons diverses que nous avons citées, semble-t-elle disposée à adopter un moyen terme, qui lui permettra de léser le moins possible la masse des intérêts en présence, tout en accordant à l'exécution des travaux les facilités techniques sans lesquelles il est difficile d'assurer une bonne exécution. Les dispositions à adopter seraient les suivantes :

835. Mesures administratives concernant les chômages. — Tous les chômages devraient être compris dans une période uniforme de deux mois, du 1er juillet au 31 août.

L'origine de tous les chômages devant durer deux mois serait invariablement fixée au 1er juillet.

Pour les chômages d'une moindre durée, on adopterait, entre les limites indiquées ci-dessus, la date la mieux appropriée aux convenances de chaque service.

Sur toute ligne qui en double une autre, et qui peut utilement rester en eau pendant que la navigation est arrêtée sur la ligne parallèle, le chômage serait fixé de telle sorte que la circulation trouve toujours libre une des deux voies. S'il était possible de recourir au système des réparations bisannuelles, chacune des lignes chômerait à son tour à l'époque unique du 1er juillet au 1er août.

Lorsque l'état des canaux le permettrait, les durées prévues ci-dessus devraient être considérablement réduites; et tous les chômages devraient commencer au 1er juillet.

Ces mesures nous paraissent aussi satisfaisantes que possible, en l'état, pour l'intérêt général du pays. Le Nord qui, dans le réseau, a comme fréquentation une influence prépondérante, n'a pas, il est vrai, les satisfactions qu'il a réclamées par ses organes les plus autorisés; mais il convient de faire

remarquer que le Nord a la plus grande partie de ses relations avec Paris, et que Paris ne l'a pas appuyé dans l'expression de son désir au sujet des chômages de mai. Nous avons même entendu le président de la chambre de commerce de Paris, au nom d'une délégation de cette assemblée, s'élever fortement contre cette date, trop rapprochée, suivant lui de l'hiver pour permettre la reconstitution, en temps utile, de l'approvisionnement de la capitale en combustible. Or, cette opinion émise au nom du consommateur, doit être prise en considération aussi bien que celle du producteur. Il serait impossible, d'ailleurs, de sacrifier absolument les canaux moins fréquentés, sur lesquels le trafic a surtout besoin d'être encouragé, en leur prenant le seul moment vraiment favorable qui soit à leur disposition. En somme, le mois de juillet comme période future de chômage général permettra d'utiliser la belle saison aux travaux; et il est probable que, le plus souvent, vers la fin de juillet ou au 1er août, les ressources en eau seront encore suffisantes pour faire face au remplissage.

836. Simultanéité ou échelonnement des chômages. — Les chômages, sur une ligne de navigation, peuvent être organisés de deux manières. On les fait débuter simultanément dans toute l'étendue de la ligne, en sorte que, au jour fixé par l'arrêté ministériel, tous les bateaux cessent de marcher, en quelque point de leur parcours qu'ils se trouvent. Ou bien, on fait commencer les interruptions d'une manière successive, dans les diverses sections dont se compose la ligne, en les échelonnant dans le sens du plus fort trafic, de manière à ce qu'un bateau, partant d'un port extrême au commencement du chômage de la première section, puisse arriver au port extrême de la dernière section sans être arrêté en route. Ce dernier procédé, l'échelonnement, est pratiqué sur les voies navigables du nord et du nord-est, dans l'intérêt de la navigation qui va sur Paris à pleine charge, au détriment de la navigation de retour, qui se fait en grande partie à vide.

837. Inconvénients de l'échelonnement. — Ce que l'on peut dire de mieux en faveur de ce système, c'est qu'il s'est

établi spontanément, et semble ainsi répondre à un besoin qui s'est imposé. Peut-être était-il avantageux à un moment où les transports n'avaient pas le même développement ; mais il est certain qu'aujourd'hui il trouve peu de défenseurs, et de nombreux détracteurs. On lui fait les reproches suivants :

L'ouverture du chômage, sur les sections successives, perd nécessairement de sa fixité, parce qu'il faut laisser passer les bateaux qui marchent dans le sens de l'échelonnement, et qui sont souvent arrêtés par des causes indépendantes de leur volonté, l'encombrement par exemple.

Ce même encombrement, qui se produit fatalement dans les derniers jours, a pour conséquence nécessaire l'arrêt, au bout de la ligne, des bateaux marchant en sens contraire. Laisser partir ces derniers, et leur permettre de parcourir les écluses, même à leurs risques et périls, lorsqu'elles sont déjà insuffisantes, serait reculer encore la date de l'exécution des travaux. On les retient donc ; et comme ils ne peuvent se mettre en route qu'à la fin du chômage de la dernière section, en se croisant avec ceux qui profitent de la reprise de la navigation en sens contraire, il s'ensuit une absence prolongée et un manque de bateaux sur les lieux de production. C'est un temps précieux perdu pour le commerce, et il est d'autant plus considérable que la ligne est plus longue et plus chargée.

Au point de vue des travaux, la vidange et le remplissage des biefs qui se commandent éprouvent de nombreuses sujétions par le fait des engagements pris vis-à-vis de la batellerie, et le temps à consacrer aux réparations est diminué d'autant.

Bref, l'échelonnement est une mesure qui n'a pas la simplicité nécessaire à des besoins d'ordre général ; et la tendance évidente est de la remplacer par la simultanéité des chômages, par région au moins, sinon pour toute la France à la fois. Cette simultanéité entraînerait, il est vrai, la création, de distance en distance, de réserves dans lesquelles les bateaux surpris au milieu d'un voyage trouveraient à se maintenir à flot, soit en se rangeant dans des bassins spéciaux, soit en restant dans des biefs désignés qui demeureraient en eau ; mais il n'y a là rien que de facile, et il y a peu de canaux où quelques bâtardeaux

ne permettent de réaliser ce programme. On aurait ainsi une période d'interruption franche, nettement circonscrite, sur laquelle le commerce devrait compter.Il agirait en conséquence ; et on lui sauverait autant que possible l'imprévu et l'incertitude, qui sont ses pires ennemis. Tous ses représentants déclarent, en effet, que ce n'est pas tant le chômage lui-même qui les préoccupe, que ses variations constantes d'époque et de durée. C'est là ce qui les gêne, en les empêchant de donner à leurs marchés la précision que réclament les transactions commerciales.

838. Résumé. — En résumé, en ce qui concerne les chômages généraux la tendance est de ne les autoriser que le plus rarement possible, d'en restreindre la durée au strict nécessaire, et d'en placer l'origine simultanément dans tout le réseau au 1er juillet.

839. Chômage par les glaces. — Il est un genre spécial de chômage dont nous n'avons que quelques mots à dire, c'est le chômage imposé l'hiver par les glaces, sur les canaux. C'est, à vrai dire, un cas de force majeure qu'il faut souvent subir, et contre lequel on peut difficilement réagir d'une manière efficace.

Le seul moyen que l'on ait à sa disposition consiste à briser la glace, sur une largeur suffisant au passage d'un bateau, et à entraîner un convoi dans le chenal artificiel qu'on lui ouvre ainsi, avant que la congélation ait eu le temps de se reproduire. C'est une opération coûteuse, pénible, qui ne peut être tentée qu'en faveur d'un intérêt considérable ; et qui, par suite, veut être accordée à des sollicitations motivées, plutôt que provoquée par les Ingénieurs. Une des conditions de sa réalisation doit être le concours actif des mariniers qui en profitent ; car c'est la meilleure preuve de l'intérêt qui s'y rattache, en même temps qu'une garantie que les sacrifices et les efforts n'auront pas été faits en pure perte.

Quand cette condition est remplie, et quand le nombre des bateaux à écouler est jugé suffisant, l'Administration se charge d'habitude de l'ouverture du chenal à travers la glace.

Divers moyens peuvent être employés :

BATEAU BRISE-GLACE DU CANAL DE L'AISNE A LA MARNE

Fig. 1_ Coupe longitudinale

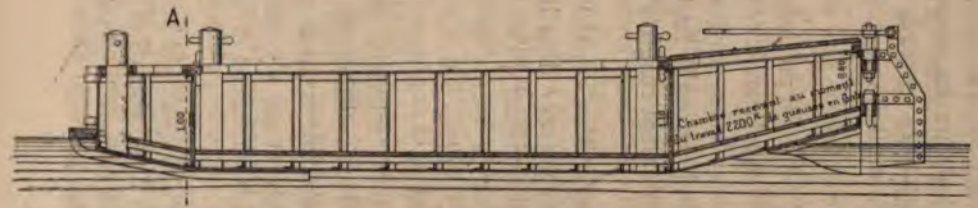


Fig. 4_ Coupe suivant AB.

Fig. 2_ Demi-coupe horizontale *(Le plancher enlevé)*.

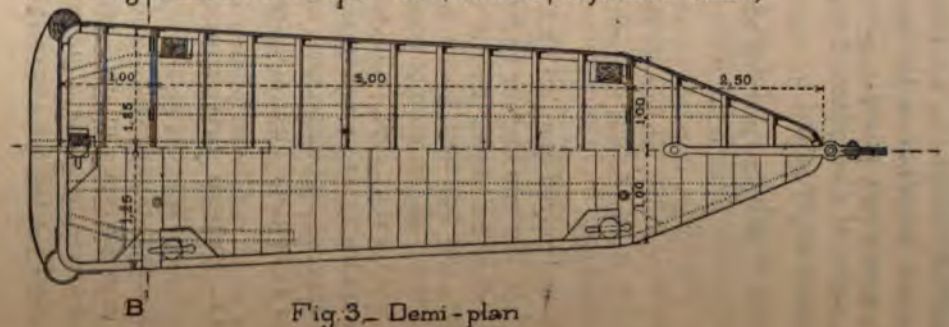


Fig. 5_ Position du bateau dans des glaces de 0,20.

Fig. 3_ Demi-plan

Échelle des figures 1 à 4 : 0,012 pour mètre.

Échelle de la figure 5 : 0,006 pour mètre.

840. Procédés d'ouverture d'un chenal dans les glaces. — On peut, avec des haches, ouvrir un double sillon, à la largeur utile, et briser à coups de masse la glace entre ces deux sillons. C'est un moyen peu rapide, coûteux et lent, mais il est à la portée de tous, et répond à des besoins immédiats, même en rase campagne.

On peut s'aider de la poudre et de la dynamite pour briser la glace, et faire avec moins de peine le passage dont nous venons de parler. Mais il y a un inconvénient qui n'est pas sans gravité, en dehors même du danger qui s'attache à l'emploi de matières explosibles, c'est la destruction du poisson qui se trouve dans le canal en ce moment. Bien que ce ne soit pas là un intérêt de premier ordre, on conçoit cependant qu'il ne doit être sacrifié qu'à bon escient, et quand on ne peut faire autrement.

Enfin il y a l'emploi du bateau brise-glace qui est certainement la meilleure solution dans les contrées où le froid, se faisant habituellement sentir, le cassage est à prévoir d'une façon normale.

Quand la glace est peu épaisse, un simple batelet peut suffire ; on le met à flot dans un espace qu'on a rendu préalablement libre ; on le hale puissamment des deux rives, dans la direction du chenal à créer, en engageant son avant sur la glace, et en laissant flotter l'arrière, de telle sorte que tout le poids du bateau pèse sur la croûte solide et la brise lorsqu'il avance. Des hommes placés à bord peuvent y aider en imprimant au bateau un mouvement de roulis, qui jette tout le choc tantôt sur un côté, tantôt sur l'autre, et augmente l'importance des fractures successives. Il convient alors que le dessous du bateau soit puissamment armé de fer, faute de quoi les angles de la glace l'useraient très rapidement.

841. Bateau brise-glace. — Quand la glace est très forte, il faut une coque plus lourde et plus puissante, sans être beaucoup plus grande. L'emploi de la tôle est alors indiqué, et nous ne pouvons mieux faire que de donner le croquis du bateau brise-glace qui a été employé, au moment du grand hiver de 1879-1880, à l'ouverture d'un passage dans le canal

de l'Aisne à la Marne, sur les plateaux très froids de la Champagne. Ce bateau qui pèse 5 tonnes en totalité, lest compris, a coûté 2.800 francs ; son fonctionnement exigeait la traction de 12 chevaux, qui marchaient avec une vitesse d'environ 4 kilomètres à l'heure. Le bordé a une épaisseur de 5 millimètres et la partie inférieure est protégée par une forte armature. La glace qu'il a brisée avait jusqu'à $0^m,30$ d'épaisseur.

§ 11

EXPLOITATION DES CANAUX

842. Questions à examiner. — La construction et l'utilisation des voies navigables sont intimement liées l'une à l'autre; et nous ne serions pas complet si nous ne disions pas quelques mots de l'exploitation des canaux. Toutefois, nous sortirions de notre cadre en nous occupant du côté industriel et commercial de la question, et nous restreindrons notre examen aux mesures sur lesquelles l'Administration a une action directe. Nous indiquerons ce qui, à notre avis, et dans les limites de ce cadre, doit produire la meilleure utilisation des sacrifices que fait la fortune publique pour la navigation, en passant brièvement en revue ce qui concerne le matériel flottant, puis les dispositions qui permettent de mettre ce matériel en communication avec les établissements industriels, et enfin les mesures d'ordre et de police qui assurent le fonctionnement régulier du système.

Matériel flottant.

Le matériel flottant n'est pas dans la main de l'Administration ; mais l'action qu'elle exerce n'en est pas moins puissante, puisque les écluses circonscrivent un type qu'il est impossible de dépasser, et auquel les bateaux doivent même rester inférieurs d'une quantité fixée, dans les trois dimensions.

843. Tonnage des bateaux. — L'administration, dans le programme qu'elle s'est imposé en 1878, a voulu permettre à ce type de s'unifier en adoptant le modèle des bateaux du Nord, le plus fort de ceux qui fréquentent nos voies navigables, qui représente une jauge effective de 250 tonneaux à peu près, avec le tirant d'eau de $1^{m},80$. La pensée est incontestablement juste ; et puisque les canaux du Nord représentent, à eux seuls, la plus grande partie du tonnage total de la navigation intérieure, il était rationnel de leur ouvrir tout le réseau, et de leur permettre d'aller aussi loin que possible, porter avec leurs produits le stimulant et le bénéfice de la concurrence.

S'ensuit-il que tous les bateaux doivent se transformer pour aboutir à ce type? C'est ce que nous nous garderions bien d'affirmer. Il y a en matière de navigation un équilibre pratique à réaliser, entre la puissance de la coque et les manœuvres qu'elle exige, équilibre qui a souvent des exigences en contradiction avec les données de la théorie de la traction des bateaux.

Nous ne contestons pas, par exemple, qu'un bateau portant 250 tonnes, en marche régulière, exige une traction moindre que deux bateaux de 125 tonnes chacun, dans un canal à grande section. Mais, dans un canal étroit, la différence va en diminuant d'une manière rapide avec la réduction de section; et il n'est pas prouvé qu'à une certaine limite, elle ne change pas de signe.

Si la marche se complique d'arrêts fréquents, où l'inertie à vaincre pour le départ se manifeste à chaque moment, l'avantage de la forte coque diminue encore ; et l'ébranlement successif de deux petits bateaux permet une mise en mouvement de la masse avec une force initiale moindre que dans le cas d'un bateau double. Celui-ci exige donc une réserve de puissance plus grande, et ne peut se contenter des moyens rudimentaires mais économiques des premiers.

Si, indépendamment des arrêts, il y a des manœuvres à faire avec le personnel restreint qui se trouve à bord des bateaux, la division de la masse est encore souvent un avantage. Or, à toutes les écluses, qu'on veuille bien le remarquer, il y a à la fois arrêt et manœuvre. Chaque bateau doit se ranger pour laisser passer ceux qui le priment ou marchent en sens con-

traire, puis se déplacer latéralement pour enfiler l'écluse quand son tour est arrivé. Un travail analogue, quoique moindre, accompagne la sortie ; et en somme c'est là, bien plus qu'à l'éclusage proprement dit, que s'emploient les 20 à 30 minutes consacrées à chaque éclusée. Lorsque les écluses sont nombreuses, on conçoit qu'il peut y avoir désavantage à se servir de coques puissantes ; et tel type qui convient à des rivières canalisées ou même à des canaux latéraux à longs biefs, peut n'être pas le plus favorable au trafic économique d'un canal à point de partage.

L'expérience n'infirme pas la valeur de ces considérations. En Angleterre, le canal de Trent et Mersey est fréquenté, soit par des bateaux qui remplissent les écluses, soit par de petits bateaux d'un tonnage équivalent à la moitié du tonnage des grands, qui naviguent tantôt en couple, tantôt séparément. En France, les petits bateaux du canal du Berry, nous l'avons déjà dit, soutiennent la concurrence sur les canaux voisins dont les écluses admettent des coques de 140 à 160 tonnes ; et très souvent ce dernier type ne prend qu'une charge incomplète, en réduisant ses moyens de halage.

Si l'on joint à ces raisons celles qui dérivent des accidents possibles pendant la route, accidents d'autant plus fréquents et d'autant plus graves que le bateau est plus lourd, si l'on tient compte des voyages à demi-charge et même à vide, on reconnaîtra que les gros tonnages peuvent bien ne pas être toujours un bénéfice.

Quelle est la mesure où l'on doit s'arrêter? Nous l'ignorons, et il est d'autant plus difficile de se faire une idée générale à ce sujet que l'importance des relations commerciales, l'existence d'un fret en retour, les facilités présentées au halage, sont autant d'éléments qui pèsent sur la question. Nous estimons, toutefois, que la pratique est ce qu'il y a de mieux pour discerner la vérité, et que, sur chaque ligne de navigation, les habitudes locales sont à desservir avant tout. Si des changements se font, on les suivra, mais il peut être imprudent de les provoquer.

844. Solidité des bateaux. — Nous avons eu occasion de faire remarquer, à plusieurs reprises, que beaucoup des bateaux affectés aux canaux laissaient à désirer, au point de vue de la solidité. C'est un tort grave, toutes les fois que le réseau qu'ils parcourent présente des rivières canalisées, où ils sont exposés aux effets de courants violents. Le mal est moindre sur les canaux proprement dits, où la navigation est toujours paisible ; mais, en revanche, il présente ce danger qu'un bateau coulé entrave la circulation. Il arrive parfois aussi qu'un vieux bateau, tout en conservant sur chaque couple envisagé isolément sa largeur réglementaire, se voile assez sur sa longueur pour s'inscrire difficilement dans le rectangle invariable dessiné par les bajoyers de l'écluse ; il en résulte des frottements énergiques entraînant avarie et des retards pour ceux qui suivent. On agira sagement, par suite, au point de vue de l'exploitation, en refusant le passage à tout bateau qui n'est pas en bon état. Nous aurons à revenir sur ce sujet en parlant du règlement de police de la navigation, mais il était utile, à propos des bateaux eux-mêmes de faire ressortir l'inconvénient des coques qui se rapprochent trop des dimensions des écluses et du canal, et qu'une usure même faible peut amener à intercepter la navigation.

845. Vitesse de marche. — Demander de la vitesse aux bateaux qui fréquentent les canaux, c'est leur faire perdre tous les avantages commerciaux de la navigation. L'hydraulique nous montre que la résistance du liquide est à peu près proportionnelle au carré de la vitesse, toutes choses égales d'ailleurs, et il s'ensuit qu'une vitesse double exige un effort de traction quadruple. Si l'on ajoute, d'ailleurs, au temps du trajet effectif, celui que fait perdre le passage des écluses, on voit qu'une vitesse double est loin d'économiser la moitié du voyage, de telle sorte que, généralement, cette accélération est trop chèrement acquise pour être recherchée.

On pourrait espérer, il est vrai, en affinant les formes du bateau, obtenir une traction plus avantageuse; mais on sait que les formes fines diminuent très notablement la capacité, ainsi que le rapport du tonnage utile au déplacement, et c'est

alors par ce côté que la transformation deviendrait onéreuse.

En somme si, aujourd'hui, même dans les conditions les plus économiques, les canaux ont peine à lutter avec les chemins de fer, il est évident que tout ce qui peut conduire à relever leurs tarifs doit être évité par eux. Ils ne pourront probablement jamais, quoi qu'on fasse, approcher de leurs rivaux sous le rapport de la promptitude et de la régularité des transports; en sorte qu'il faut, sans hésiter, pour la plupart des marchandises destinées aux canaux, sacrifier la vitesse à l'économie. Cette nécessité pèse d'un grand poids sur tous les faits d'exploitation.

846. Moyens de gagner du temps. — Hâtons-nous d'ajouter, cependant, que s'il ne faut pas chercher à gagner du temps par des moyens onéreux, il est très utile de n'en pas perdre quand la longueur du trajet est un des principaux reproches adressés à la navigation. Sous ce rapport, divers points veulent être rappelés ou signalés.

C'est d'abord la traction, à laquelle on peut éviter beaucoup de peine et de retards en établissant un chemin de halage sur chaque rive. En temps ordinaire, les bateaux choisiront la rive qui se trouve au vent; et diminueront ainsi l'effort à produire, ou prendront plus de vitesse pour le même effort. Pendant les périodes d'encombrement, on affectera au contraire une des rives à la navigation montante, et l'autre à la navigation descendante, ce qui fera disparaître le retard dû aux croisements.

En second lieu, nous avons dit que les manœuvres accessoires de l'éclusée étaient la partie la plus longue de l'opération totale; on les simplifiera en prenant, aux abords des écluses, toutes les dispositions utiles pour que les bateaux trouvent des moyens faciles de s'amarrer, de se mettre en marche et d'étaler leur vitesse sans hésitation et sans difficulté. C'est dire par exemple qu'en outre des bornes d'amarrage les points d'accès à la rive seront munis d'échelles et d'escaliers en quantité suffisante, et que, dans les passages rétrécis, le halage ne sera pas interrompu.

Nous rappelons, pour mémoire, la grande dimension des

ventelles ou des aqueducs latéraux, ainsi que la manœuvre rapide et aisée des engins mobiles, et le parfait équilibre des portes. Nous ne reviendrons pas sur ces sujets, que nous avons traités, pas plus que sur l'approfondissement des sas et des radiers des passages rétrécis, sur le curage et le faucardage de la cuvette, qui ont aussi sur la vitesse des bateaux une action des plus marquées. Nous nous bornerons à constater que tous ces divers soins, que nous avons recommandés, n'ont pas seulement pour but de prévenir une interruption, possible à la longue, mais favorisent encore de la manière la plus efficace l'exploitation des canaux, en donnant plus de rapidité sans augmentation de dépense. Or, c'est là le véritable désideratum en matière de vitesse.

847. Exploitation par bateaux à vapeur. — Dans tout ce qui précède, nous nous sommes préoccupé beaucoup plus des bateaux ordinaires que des bateaux à vapeur. C'est que, dans l'état actuel des moteurs et des transports industriels, les bateaux à vapeur ne constituent encore qu'une très infime minorité dans la flotte intérieure. Les transports qu'ils effectuent ont besoin, pour ne pas être trop chers, de se trouver dans des conditions spéciales que les canaux présentent rarement; il faut qu'ils soient assurés d'un travail à pleine charge avec fret en retour, pendant toute l'année, et encore n'est-il pas certain que sur les canaux à biefs très courts la spéculation soit fructueuse. Pour le moment, nous dirons de la navigation à vapeur ce que nous disions tout à l'heure de la marche rapide : nous ne contestons pas les avantages de ce mode de locomotion des bateaux; mais, sur les canaux, nous craignons que ces avantages ne soient trop chèrement acquis par l'accroissement du prix du fret qu'ils entraînent.

Dispositions destinées à faciliter l'embarquement et le débarquement des marchandises.

848. Inconvénients de l'état de choses actuel. — Ici, nous devons le reconnaître, il reste beaucoup à faire, et

l'outillage de la plupart de nos canaux laisse fortement à désirer. Les embarquements et les débarquements s'opèrent de la manière la plus primitive, dans des ports où les marchandises n'arrivent qu'avec un camionnage qui n'est pas organisé; et la réglementation en vigueur sur le domaine public se préoccupe plus de réprimer les abus possibles, que de faciliter les moyens de mettre la voie navigable à la portée de chacun, sans nuire à l'intérêt général.

Il ne serait pas impossible, croyons-nous, de faire la part plus large aux industries qui ontbesoin d'utiliser les canaux, en permettant plus aisément la création d'établissements particuliers, sous réserve d'une autorisation révocable avec ou sans indemnité, suivant les cas.

849. Ports particuliers. Grues et voies ferrées. — Il n'y a pas de raison par exemple, pour ne pas laisser exécuter des ports particuliers partout où un élargissement, pratiqué aux frais du pétitionnaire, permet le croisement des bateaux et ne gêne pas le halage.

La concession de grues et de voies ferrées de faible longueur, aux mêmes conditions de précarité, pourrait se faire dans des formes moins compliquées et moins longues qu'aujourd'hui, pour répondre à des besoins immédiats ou temporaires; il serait possible en un mot, au moyen d'instructions générales préalables, de décentraliser un peu la réglementation, et d'accorder à bref délai sur le domaine public, nous ne dirons pas des servitudes, mais quelques sujétions précaires et révocables, sauf à en régulariser ensuite l'existence en cas de durée. Ce serait certainement un progrès.

850. Ports publics. — En ce qui concerne les ports publics, il conviendrait de leur donner un grand développement, et de montrer une tolérance proportionnée, au sujet des dépôts qui s'y pratiquent. Du moment où l'on admet que les voyages sont longs et par suite incertains, le camionnage à l'arrivée et au départ ne peut se préparer à jour fixe: les prévisions pour l'emmagasinement sont, d'ailleurs, souvent déjouées par les hasards de la vente; et sans laisser arriver à l'abus, il est

incontestable qu'il y aurait lieu de se montrer d'autant plus conciliant qu'un stock est mieux justifié. On concevra donc et on appliquera le règlement du port avec la pensée d'aider le commerce par eau, sans toutefois gêner l'intérêt de tous par une tolérance exagérée vis-à-vis de quelques-uns. C'est une question de mesure qui n'est susceptible d'aucune règle.

851. Garde-ports. — Dans cet ordre d'idées, l'institution des garde-ports avait quelque raison d'être. Le garde-port, moyennant un certain droit perçu sur toutes les marchandises, était responsable de leur conservation, il en certifiait la quantité, l'espèce et la provenance, veillait aux dépôts et aux enlèvements, suivant les besoins journaliers; et apportait ainsi aux transactions un élément d'ordre et un certificat de sincérité qui avaient une valeur réelle. Par décret du 21 août 1852, l'institution des garde-ports n'a été conservée à titre obligatoire que dans le bassin de la Seine; partout ailleurs, elle est demeurée facultative, et en fait a été supprimée. Il y a bien des ports où le désordre et les soustractions causent des pertes bien supérieures aux droits jadis perçus par ces fonctionnaires; si leur mode de paiement était incompatible avec la liberté commerciale, il semble que leur suppression pure et simple a été un remède qui est loin d'être sans inconvénients.

Mesures d'ordre et de police destinées à assurer le fonctionnement des canaux.

852. Règlement type. — Les mesures d'ordre et de police destinées à assurer le fonctionnement des canaux ont été groupées dans un règlement préparé par l'Administration le 1er mai 1882, et qui s'applique dans chaque département par les soins du préfet, lequel doit prendre un arrêté conforme au modèle type. Nous passerons rapidement en revue, non pas toutes les dispositions, mais celles-là seulement qui sont susceptibles de commentaires.

853. Conditions à remplir pour naviguer. — Le titre I précise les conditions à remplir pour pouvoir naviguer. On y trouve les dimensions maxima des bateaux et des trains, le personnel qui doit se trouver à bord, les pièces dont il doit être muni, l'éclairage à adopter la nuit; et nous n'aurions rien à ajouter à ce qui est énoncé, si l'art. 8 ne laissait planer une certaine incertitude sur la marche en convoi, laquelle n'est permise que sur les canaux ou sections de canaux désignés par l'Administration.

C'est qu'en effet la marche en convoi n'est pratiquement réalisable que sur des biefs un peu longs, en raison des retards qui résultent de l'éclusage d'un convoi. Dans le nord et l'est, on autorise les convois d'une manière générale; dans le centre, où les biefs sont courts, on s'y oppose presque partout, et il est impossible d'énoncer une règle. En matière aussi douteuse, il est évident qu'il faut, dans chaque cas particulier, confirmer par le règlement les habitudes locales, et ne laisser innover qu'à bon escient. Pour la navigation, on ne saurait en général apporter trop de prudence lorsqu'il s'agit d'une rupture d'habitudes; et, si le besoin se fait sentir d'autoriser les convois là où il n'en existait pas, il sera sage au début d'en restreindre la longueur à trois bateaux au plus, afin de pouvoir apprécier ce qui s'en suivra.

854. Classement des bateaux. — Le titre II du règlement divise les bateaux en six classes, suivant leur mode de navigation; et définit, en même temps que leur dénomination, les signes distinctifs auxquels on reconnaît leur classe. Ce classement a une grande importance au point de vue du trématage et de la priorité de passage aux écluses et aux ponts mobiles, double privilège qui peut influer notablement sur la durée du trajet.

On conçoit, en effet, qu'il était impossible d'astreindre tous les bateaux à se suivre, en même temps qu'on ne pouvait les laisser lutter de vitesse dans une section aussi étroite que celle d'un canal. La liberté de marche n'est possible que sur une voie d'eau très largement ouverte, sous peine de risquer des accidents qui arrêteraient, non-seulement ceux qui en se

raient victimes, mais encore tous ceux auxquels le chemin serait barré. Il a donc fallu préciser les conditions auxquelles un bateau pourrait trémater un autre bateau, c'est-à-dire le dépasser pendant qu'il marche.

Le droit de trématage est réglé par le numéro de la classe à laquelle appartient chaque bateau; à égalité de classe, les bateaux à voyageurs prennent le pas sur les autres, puis viennent ceux qui naviguent pour le service de l'État ou les travaux de navigation; puis enfin les bateaux de service régulier qui passent avant ceux dont la marche est facultative. Ce droit ne peut s'exercer qu'en plein bief, c'est-à-dire à une distance qui n'est jamais inférieure à cent mètres des passages rétrécis. Un poteau indique, aux abords des rétrécissements, le point extrême où cesse le droit de trématage, et où par suite les bateaux doivent prendre la file, même quand cette file, déjà formée, les arrête avant qu'ils soient parvenus au poteau limite.

C'est dans ce même ordre, au poteau limite, que se règle le passage aux écluses et aux ponts mobiles. Toutefois, il a été fait exception pour les bateaux à vapeur isolés auxquels on a donné le droit de passer avant les bateaux qui attendent leur tour en dehors du poteau limite. L'Administration a cru devoir leur accorder cette faveur, afin d'aider au développement d'un mode de navigation trop peu suivi. Elle a réservé en outre les cas exceptionnels, pour lesquels les conducteurs de bateaux sont tenus d'être munis d'autorisations spéciales et individuelles délivrées par l'Ingénieur en chef, et qui doivent être représentées à toute réquisition.

On est forcé de convenir qu'il y a matière à bien des discussions dans cet ensemble de mesures; mais il est difficile qu'il en soit autrement, quand on veut concilier une règle stricte avec la liberté de circulation. Les dispositions que nous venons d'énumérer n'en sont pas moins celles que l'expérience a montré être les moins imparfaites; et comme avant tout il faut une décision, il est stipulé qu'en cas de contestation les conducteurs de bateaux sont tenus de se conformer aux ordres de l'éclusier, ou de tout autre agent de la navigation, pour la priorité du passage.

855. Marche des bateaux. — Le titre III règle les conditions de la marche des bateaux et de leur passage aux écluses, ponts et ouvrages d'art. Il n'y a aucune observation à faire, si ce n'est en ce qui concerne la navigation de nuit, qui précédemment était prohibée sur certains points, et libre sur d'autres. L'Administration a posé résolument le principe d'un libre parcours de la voie navigable le jour et la nuit, sous de certaines conditions de personnel et d'éclairage. Elle s'est même réservé le droit, en cas d'encombrement, de prescrire la marche de nuit, et elle a confié ce pouvoir aux Ingénieurs, ainsi que celui d'interdire exceptionnellement la circulation à l'époque des gelées, des crues et des débâcles, et dans le cas où, par suite d'avaries, quelque danger serait à redouter. Nous devions signaler cette latitude donnée au commerce d'une part, aux agents locaux d'autre part, latitude aussi rationnelle que bien entendue, sous certaines conditions prévues par un règlement de police du 4 août 1884.

856. Passage des souterrains. — Le titre IV s'occupe du passage des souterrains. Il n'édicte aucune mesure générale, et laisse à chaque cas particulier le soin de se régir. Habituellement, lorsque le souterrain est court, on se borne à y réglementer la circulation par périodes d'une ou plusieurs heures, pendant lesquelles le passage s'opère exclusivement tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Un signal, placé à distance, avertit les bateaux.

Si le souterrain est long et la fréquentation considérable, de nombreux retards se produisent; on agit sagement alors en organisant un système de touage, qui fait franchir dans les deux sens, à heure fixe et en convoi, tout le passage rétréci. Il serait difficile, toutefois, de rendre ce touage obligatoire s'il n'était pas gratuit; aussi est-on entré franchement dans cette voie, et c'est la véritable solution du passage toujours pénible des souterrains qui dépassent une certaine longueur, 1500 à 2000 mètres par exemple. L'État sort bien un peu de son rôle en se chargeant ainsi de la traction des bateaux, mais les cas où cette manière d'opérer est nécessaire sont rares, et les encombrements de bateaux sont si longs à dissiper que

l'intérêt général de la circulation justifie cette dérogation au principe.

857. Mesures d'ordre pour le stationnement. — Le titre V fait connaître les mesures d'ordre auxquelles sont soumis les bateaux qui stationnent, qui embarquent ou débarquent des marchandises, qui se réparent ou se garent. Ces mesures ne prêtent pas à la discussion, sauf peut-être celle qui interdit de charger, décharger et déposer des marchandises ailleurs que dans les ports. Ce serait là une prescription bien rigoureuse, si elle n'était tempérée par la possibilité d'obtenir la permission d'agir autrement, de l'Ingénieur s'il s'agit d'un bateau, et de l'Ingénieur en chef s'il s'agit de chargements et de déchargements qui doivent avoir une certaine durée ou une certaine continuité. Il est certain qu'il est impossible, dans un canal, de songer à rendre le stationnement libre ; mais, en pratique, la latitude laissée aux Ingénieurs est indispensable, et ils en usent avec raison toutes les fois que ce stationnement ne peut pas causer de préjudice à la circulation. C'est une question de mesure dans la tolérance, et il n'était pas possible de faire autrement que ne l'indique le règlement.

858. Interdictions et prescriptions. — Le titre VI rappelle toutes les interdictions et prescriptions de grande voirie ; nous n'avons pas, par suite, à le discuter. Nous nous arrêterons toutefois un instant sur l'art. 54, ainsi conçu : « Le propriétaire d'un bateau, train ou radeau qui viendrait à couler à fond est tenu de prendre, dans le délai qui lui sera prescrit par l'agent de la navigation le plus voisin, les dispositions nécessaires pour retirer ce bateau ou le remettre à flot. Faute par lui d'avoir satisfait à cette obligation dans le délai fixé, il y sera pourvu à ses frais par l'agent de la navigation. » Lorsque, dans un canal, un bateau coule à fond, presque toujours la navigation est interceptée ; d'où suit la nécessité de le retirer à bref délai. Mais, à côté de cette nécessité, se trouve la question de possibilité d'y parvenir dans le délai prescrit, ainsi qu'une discussion inévitable, soit sur les causes de l'accident, soit sur la quotité des frais faits, de telle

sorte que, presque toujours, une exécution d'office aboutit à un procès. Le litige se complique aussi la plupart du temps de force majeure invoquée, d'une responsabilité partagée par une compagnie d'assurances ; en somme, l'application de l'art. 54 entraîne avec lui de nombreuses difficultés, sans parler des retards que la force des choses amène, car on ne peut imposer, au début, qu'un délai dans lequel le sauvetage est réalisable.

Nous en concluons qu'au point de vue de l'exploitation, il est du plus haut intérêt d'éviter les accidents de ce genre. On devra donc, sans hésiter, refuser le passage à tout bateau qui ne remplirait pas les conditions voulues pour naviguer ; les plus mauvaises chances seront ainsi conjurées. Si, néanmoins, quelque naufrage vient à arriver, on aidera, sans déplacer les responsabilités, celui qui le subit, à la condition expresse qu'il se hâte de son côté, parce qu'en pareil cas la meilleure solution est toujours celle qui sera la plus prompte. On ne perdra pas de vue, d'ailleurs, que la tolérance dont on userait vis-à-vis de la personne responsable serait un dommage causé à tous ceux qui attendent ; et l'on accomplira toujours immédiatement les formalités voulues par l'art. 54, afin qu'en cas de nécessité l'exécution d'office ne subisse pas de retard. Nous terminerons en réitérant cette recommandation que l'aide apportée, quelque large qu'elle soit, ne doit jamais aller jusqu'à déplacer les responsabilités.

859. Juridictions et dispositions exceptionnelles. — Le titre VII rappelle les juridictions devant lesquelles sont portés les litiges, et reçoit les dispositions exceptionnelles que peut exiger chaque voie navigable. Ces dispositions exceptionnelles doivent être aussi rares que possible ; c'est tout ce que nous pouvons en dire. La multiplicité comme la diversité des prescriptions complique le règlement, en gêne l'application, et doit être évitée autant que faire se peut.

§ III

COMPARAISON ENTRE LES CHEMINS DE FER ET LES CANAUX

860. Sujétions principales de la navigation. — Tout ce qui a été dit sur les canaux permet de comprendre comment le trafic qu'ils desservent a pour besoins principaux l'eau et le temps. L'eau est indispensable pour maintenir le mouillage pendant la saison sèche; le temps s'use aux chômages généraux et locaux, aux glaces de l'hiver, au passage des écluses et à la lenteur forcée de la marche. Les retards s'accroissent d'ailleurs beaucoup avec l'altitude des pays traversés, avec le nombre des écluses, avec les pentes et contrepentes (lesquelles n'offrent entre elles aucune compensation), en un mot, avec les conditions qui s'imposent à tout tracé dans une contrée accidentée.

861. Sujétions moindres des chemins de fer. — Les chemins de fer ne sont pas soumis à d'aussi fortes sujétions. La voie une fois établie, les trains emportent avec eux tout ce qui leur est nécessaire. L'exploitation est plus coûteuse en pays de montagnes qu'en plaine, mais elle est toujours régulière et rapide. L'organisation est d'autant plus sûre que les transports de voyageurs et de marchandises apportent un double élément de trafic que l'on peut séparer où réunir à volonté; et, en fait, les prévisions de départ et d'arrivée se vérifient toujours à très peu près.

862. Prix relatif des transports. — L'un des deux instruments est donc infiniment supérieur à l'autre, au point de vue des facilités offertes; et pour que la concurrence par les canaux soit possible, il faut que ceux-ci permettent de réaliser

une notable économie sur le prix des transports. Cherchons à nous rendre compte de ce que peut être cette économie.

Sur les chemins de fer, les prix sont connus; ils peuvent s'abaisser pour les marchandises voyageant par wagon complet, à 4 et même à 3 centimes par tonne et par kilomètre, dans les conditions les plus favorables.

Sur les canaux et les rivières canalisées, le prix de transport est inconnu, les besoins commerciaux et la concurrence les faisant varier dans de larges limites. Il a été évalué à 15 millimes pour les canaux, à 20 millimes pour les rivières canalisées, ce qui, avec l'entretien du matériel, représente 20 à 25 millimes. Encore cette évaluation a-t-elle été faite en prenant pour base des données recueillies dans le Nord de la France, c'est-à-dire dans un pays où la navigation est favorisée. En somme, il est difficile de croire que la différence de prix, par tonne et par kilomètre, puisse atteindre 10 millimes. En raisonnant sur ce chiffre, que nous croyons être un maximum, le bénéfice devient de 1 fr. pour un trajet de 100 kilomètres; et, pour envisager les longs parcours, 3 fr. pour 300 kilomètres.

Il convient toutefois d'observer que, entre deux localités réunies par un chemin de fer et un canal, le dernier a moyennement 1/4 en sus de la longueur des chemins de fer, ce qui réduit l'avantage à 0 fr. 75 et 2 fr. 25 à peu près, pour les longueurs indiquées plus haut.

Ceci posé, poursuivons notre comparaison :

Le chemin de fer fonctionne sans interruption, et il suffit que la marchandise soit expédiée par wagon complet de 5 à 10 tonnes pour qu'on reste dans les conditions prévues. Le canal, pour être dans une position comparable, doit transporter à la fois de 120 à 250 tonnes, suivant la capacité du bateau, et subir parfois des arrêts qui vont jusqu'à 2 mois par an.

Le chemin de fer s'engage à faire ses livraisons dans un délai qui correspond à 125 kilomètres par jour, soit 1 jour franc dans le premier des cas que nous examinons et 3 dans le second. Doublons, pour les arrêts, l'imprévu, le camionnage, nous arrivons encore à un temps inappréciable au point de vue des transactions. En usant du canal, il faut 10 jours dans

le premier cas, plus d'un mois dans le second, beaucoup plus si les chômages interviennent. D'où la nécessité d'avoir en réserve un stock plus considérable et des frais de magasinage.

Ce n'est pas tout. Si la marchandise représente une valeur un peu élevée, la perte d'intérêts et l'assurance (qui est entrée complètement dans les habitudes de la navigation) arrivent promptement à compenser la différence des prix de transport. Prenons pour exemple des vins valant 350 à 400 fr. la tonne, le transport à 300 kilomètres gagnera 2 fr. 25 ou un peu plus de 1/2 pour cent de la marchandise; au taux commercial, il est permis de penser que le délai d'un mois qui correspond à la distance absorbera tout le bénéfice.

Envisageons au contraire la houille, qui vaut par exemple 15 fr. la tonne sur le carreau de la mine, les 2 fr. 25 d'économie représentent 15 0/0 de la valeur de la marchandise, c'est-à dire un bénéfice vraiment rémunérateur, malgré le retard dû au voyage. Il en serait à peu près de même pour la pierre de taille, si les chargements et les déchargements en bateau était plus pratiquement exécutables.

En s'adressant aux menus matériaux de construction, aux moellons, par exemple, et à la meulière, qui à raison de 6 fr. le mètre cube représentent environ 3 fr. par tonne, le transport par eau, pour un voyage de 100 kilomètres, donne un bénéfice de 0 fr. 75 soit 25 0/0 du prix d'achat.

Les bois, les minerais, les engrais et amendements, la castine, les marchandises encombrantes comme le foin, la paille, le coke, trouvent encore des avantages à emprunter les canaux. On peut en dire autant des constructions en fer, surtout lorsqu'elles sont de fortes dimensions, parce qu'alors les chemins de fer ne peuvent plus les accepter à des tarifs aussi réduits. Toutefois, cette dernière classe de marchandises est une des exceptions sur lesquelles il ne faudrait pas s'appuyer; et, si nous l'avons citée, c'est qu'elle apporte un argument en faveur de l'utilité des canaux. Ajoutons même qu'il y a des cas où ceux-ci donnent ce que l'on ne peut demander aux chemins de fer. Ainsi, les fortes pièces de canon destinées à la marine dépassent depuis longtemps déjà la tare des wagons et la résistance des ponts, en sorte que leur transport est impos-

sible par voie ferrée; il est réalisable au contraire, sans grande difficulté, par voie d'eau.

862. Conditions d'une concurrence possible. — On ne peut donc pas dire, à priori, qu'on fera concurrence aux chemins de fer avec des canaux; il faut, pour que cette concurrence soit possible, que le genre de marchandise à transporter s'y prête, et que d'ailleurs les interruptions ne soient ni trop longues, ni trop fréquentes sur les canaux; car si l'imprévu y prenait des proportions exagérées, les objets lourds et encombrants les éviteraient eux-mêmes. Nous en concluons qu'il ne saurait être avantageux de construire un canal là où le trafic doit se composer de marchandises d'un prix élevé; et que, même avec des éléments de chargements convenables, on doit hésiter à proposer d'en établir dans les régions très accidentées. Là, en effet, l'eau est rare l'été et les chômages fréquents, tandis que le nombre de kilomètres du tracé ne mesure plus le prix du voyage. La durée du trajet dépend en effet de deux choses, la longueur de la voie d'une part, le nombre d'écluses d'autre part. Tant que le nombre d'écluses ne dépasse pas ce qui convient pour procurer de temps en temps au halage un repos nécessaire, on peut compter par kilomètres; mais au delà, il n'en est plus de même, et les pays montagneux offrent une succession de biefs si courts qu'on avance à peine pendant une journée. On a assimilé quelquefois le passage d'une écluse au parcours d'un kilomètre; nous rapportons ce chiffre, non comme une évaluation sur laquelle on peut compter, mais comme un témoignage de l'incertitude qu'offre, en matière de navigation, un calcul basé sur la distance parcourue, comme on a trop souvent le tort de le faire[1].

1. Il résulte d'expériences récentes de M. l'ingénieur en chef Bazin, sur le canal de Bourgogne dont les écluses viennent d'être transformées, que l'évaluation d'un kilomètre par écluse serait notablement exagérée. On devrait assimiler le passage à une écluse à un parcours de :

574 mètres pour un bateau à vapeur;
370 — pour la traction avec chevaux;
268 — pour le halage à bras.

Il convient de ne pas perdre de vue que ces chiffres n'ont rien d'absolu

Si nous nous sommes bien fait comprendre dans tout ce qui précède, on reconnaîtra la vérité de ce que nous avons déjà énoncé plusieurs fois, à savoir que le principal élément de prospérité des canaux, c'est l'économie qu'ils sont susceptibles de produire quand ils sont judicieusement établis, c'est-à-dire là où ils trouvent le trafic qui leur convient. On ne cherchera donc pas à gagner des kilomètres en multipliant les écluses; on assurera l'alimentation avant tout; et l'on s'efforcera d'obtenir que la navigation puisse devenir aussi peu lente que possible, à la condition expresse que l'augmentation de vitesse soit obtenue sans augmentation du prix de fret.

864. Exemples. — Quand ces conditions sont remplies, les canaux rendent les plus grands services tant par eux-mêmes que par l'action modératrice qu'ils exercent sur les tarifs des chemins de fer. Ils sont même des auxiliaires dans certains cas pour ces derniers, en les débarrassant de toutes les marchandises lourdes et encombrantes, qui, sur des lignes très fréquentées, immobilisent une portion du matériel roulant, dont l'emploi à d'autres usages serait plus rémunérateur.

Il y a d'ailleurs du travail pour tous. En Amérique, dans l'État de Maryland, le canal Chesapeake and Ohio (qui ne va pas jusqu'à l'Ohio, mais relie seulement Cumberland à Baltimore avec un parcours de 250 à 300 kilomètres) a été construit en 1850 pour le transport des houilles de Cumberland. Dès 1842 un chemin de fer, parallèle au tracé du canal et allant de Baltimore à l'Ohio (c'est-à-dire ayant un débouché à chaque extrémité), était en possession du transport des houilles qui était pour lui un monopole de fait. Malgré cette situation acquise, le canal transporte aujourd'hui les deux tiers de ce que voiture le chemin de fer, sans que le tonnage de ce dernier ait diminué. Le débouché nouveau offert à la production l'a donc développée dans une large mesure, et la lutte, toute au bénéfice du consommateur, se soutient avec succès. Mais, observons-le, le canal Chesapeake and Ohio,

et sont susceptibles de varier avec les dimensions respectives du matériel, de l'écluse, et même de la section normale du canal.

malgré son titre, ne franchit pas la chaîne des Alleghanys, et la marchandise transportée est la houille.

En France, nos canaux très fréquentés sont à peu près dans le même cas. Ils apportent à Paris les charbons du Nord et de la Belgique; mais, sauf à la traversée de quelques chaînes de peu de hauteur, ils offrent à la navigation des biefs longs et sûrs.

Voici les faits tels qu'ils existent aujourd'hui. Peuvent-ils se modifier dans l'avenir?

865. Avenir de la navigation. — Assurément la chose est possible et probable. Les chemins de fer, par cela même qu'ils étaient un moyen de communication commode et rapide, se sont perfectionnés immédiatement. On a obéi partout au désir exprimé par l'opinion publique, au delà même peut-être de ce qui eût été rationnel; et, sous la faveur parfaitement méritée dont jouissent ces voies de communication, la construction et l'exploitation ont progressé rapidement; elles ont fait des chemins de fer ce merveilleux instrument de diffusion que nous avons vu se développer sous nos yeux, et dont il serait impossible de se passer aujourd'hui. Mais, en matière commerciale, un progrès en appelle un autre; et pour que les conditions des échanges soient plus faciles, pour que des débouchés nouveaux excitent la production, pour qu'une certaine concurrence éloigne la possibilité d'un monopole pour les chemins de fer, on tend à donner aux anciens canaux les éléments de prospérité qui leur manquent; on construit même de nouvelles lignes, et l'on doit penser que, là aussi, l'expérience et l'étude amèneront de notables améliorations.

Il y a bien des raisons de l'espérer.

866. Motifs de cet avenir. — D'abord, le prix de construction des canaux passe pour être moindre que celui des chemins de fer. D'après des documents qui ne sont pas très récents, il est vrai, le kilomètre de canal aurait coûté en moyenne 165.000 fr., tandis que le kilomètre de chemin de fer serait revenu à 230.000 fr. Ce n'est pas que ces chiffres nous touchent beaucoup, bien que, pour être complet, nous ayons

voulu les rapporter. Nous croyons que cette très forte différence tient à ce que les anciens canaux n'avaient ni les mêmes dimensions, ni la même alimentation que les canaux récents. Toutefois, en tenant compte des conditions d'établissement dont nous avons parlé plus haut, c'est-à-dire en ne plaçant des canaux que là où le pays les comporte, on peut maintenir, croyons-nous, que le prix moyen kilométrique des canaux est moindre que celui des chemins de fer. Ce n'est pas, assurément, que la cuvette d'un canal soit plus facile à construire que la plate-forme d'un chemin de fer, ce n'est pas que l'eau coûte moins cher à se procurer que les rails; mais les exigences ne sont pas les mêmes de la part des intérêts à desservir; beaucoup de passages qu'un chemin de fer peut aborder avec des ouvrages légers et économiques sont infranchissables pour un canal, et en empêchent la construction. Une comparaison entre deux moyennes n'est donc pas équitable, et, sous le bénéfice seulement de cette réserve, il est permis de dire que le kilomètre de canal coûte moins cher que le kilomètre de chemin de fer. Admettons donc simplement en thèse générale l'égalité, et concluons que, sous le rapport du prix de construction, il n'y a pas infériorité pour les canaux.

Quant à l'entretien, il est certainement moindre que celui des chemins de fer, si le premier établissement a été soigné, et si d'ailleurs, comme nous l'avons supposé, le canal ne prend pas place dans des régions trop difficiles.

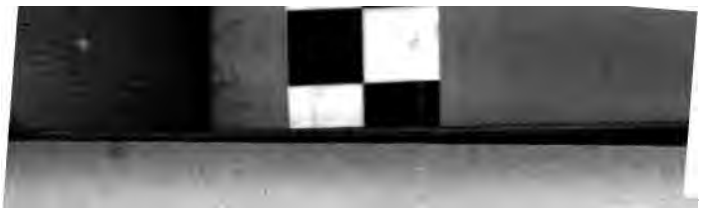
Le poids mort du matériel roulant atteint 60 0/0 du poids utile sur les chemins de fer; il n'est que de 15 0/0 sur les canaux. Au cas de retour à vide, l'avantage pour les canaux est encore plus grand.

La résistance à la traction est beaucoup plus faible sur bateau que sur wagon.

Le matériel mobile représente un capital infiniment moindre pour la navigation intérieure, au moins telle qu'elle se pratique aujourdhui.

Enfin, dans une certaine mesure, les bateaux en raison de leur capacité peuvent venir en aide à l'emmagasinement, tandis que les wagons dont le temps est plus précieux exigent, à la suite de chaque transport, un camionnage immédiat.

867. Conclusion en ce qui concerne la construction de canaux. — Ce sont là des avantages précieux, dont une exploitation intelligente arrivera à profiter mieux qu'on ne le fait aujourd'hui ; mais ils ne sauraient infirmer cette vérité que les canaux ne peuvent pas lutter partout avec les chemins de fer, et qu'il ne faut pas les faire sortir du milieu qui leur convient. Leur établissement serait une perte pour la fortune publique, partout où le transport ne serait pas notablement au-dessous des prix applicables aux chemins de fer; une fois que les circonstances locales ont justifié leur création, l'économie dans le fret est la première chose à obtenir, en s'efforçant d'ailleurs d'y joindre la sécurité et la régularité, autant que faire se peut.



ANNEXES

SOMMAIRE :

A. ÉTUDES TECHNIQUES ET ADMINISTRATIVES POUR L'ÉTABLISSEMENT DE GRANDS CANAUX DE NAVIGATION : I. Canal du Nord sur Paris ; II. Canaux destinés à desservir la région houillère et industrielle de Saint-Étienne ; III. Canal de la Garonne à la Loire.

B. LES ASCENSEURS : Accident d'Anderton. — Construction de l'ascenseur des Fontinettes.

C. RENSEIGNEMENTS DIVERS SUR LES CANAUX : I. Le canal de la Deûle et la salubrité de la ville de Lille ; II. Le trafic et les prix du fret sur les voies navigables du Nord ; III. Étude sur la marche des bateaux.

ANNEXES

A. — Études techniques et administratives pour l'établissement de grands canaux de navigation.

I. *Canal du Nord sur Paris.*

Par M. Flamant, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La présente étude est l'historique sommaire des principales phases par lesquelles a passé l'instruction de la déclaration d'utilité publique du canal du Nord sur Paris. On y trouvera la description du projet, l'indication des études faites, le résumé des enquêtes et des délibérations auxquelles ce projet a donné lieu, depuis le moment où il en a été pour la première fois question, en 1878, jusqu'au jour où, après avoir été partiellement déclaré d'utilité publique par la Chambre des députés et fait l'objet d'un rapport favorable au Sénat, il a été retiré de l'ordre du jour de cette assemblée. Au cours de cette longue instruction, il a été, a bien des reprises, vivement attaqué. Les polémiques auxquelles il a donné lieu n'ont plus aujourd'hui qu'un médiocre intérêt, et il n'en sera pas fait mention. Cependant, la comparaison de l'avant-projet dont il s'agit et de celui qui a été mis concurremment aux enquêtes a donné lieu, à tous les degrés de l'instruction, aux discussions les plus ardentes ; il sera difficile de la laisser entièrement de côté, mais elle sera abrégée autant que possible.

Cette étude se divise en trois parties. La première est consacrée aux études antérieures à la rédaction de l'avant-projet ; la seconde, de beaucoup la plus importante, contient la description de cet avant-projet et du projet de détail du type

d'écluse qui a été élaboré en même temps; la dernière, enfin, rappelle les délibérations des diverses assemblées qui ont eu à l'examiner.

§ Ier

ÉTUDES ANTÉRIEURES A LA RÉDACTION DE L'AVANT-PROJET

Importance de la région du Nord. — Les départements du Nord et du Pas-de-Calais sont le siège d'une activité industrielle d'une importance qui n'a son égale sur aucun autre point du territoire français, Paris et la région voisine, bien entendu, exceptés[1]. Cette activité est plus spécialement concentrée dans les arrondissements de Béthune, Douai, Lille et

1. Ces deux départements avaient ensemble, au dernier recensement, une population de 2,420,000 habitants, qui représente à peu près le quinzième de la population totale de la France, non compris le département de la Seine. Ils ont contribué aux recettes du Trésor, dans les principaux articles du budget, en 1881, pour les sommes suivantes :

NATURE DES RECETTES.	DÉPARTEMENTS du Nord.	DÉPARTEMENTS du Pas de Calais	DÉPARTEMENTS de la Seine.	Tous les autres départements ensemble.	TOTAL pour la France entière.
Quatre contributions directes	fr. 13.690.885	fr 6.267.228	fr 54.420.761	fr. 237.233.741	fr. 341.612.615
Enregistrement, timbre, domaines.....	23.411.375	12.458.049	249.321.616	457.727.176	743 918.216
Boissons, licences	24.381.081	14.021.883	89.264 153	328.992.175	456.659.292
Sucres.....	7.373.444	308.211	52.246.181	11.004.826	70.932.662
Tabacs.....	12.510 771	7.169.482	58.476.917	275.392 760	353.549.930
Totaux.....	82.367.556	40.224.853	503.729.628	1.340.350.678	1.966.672.715
Proportion pour cent....	4.19	2.05	25.61	68.15	100.00

Dans cette recette totale de près de deux milliards de francs, qui représente plus des deux tiers du revenu total du Trésor pour l'année 1881, ils ont payé ensemble la douzième partie de la totalité des impôts perçus en dehors

Valenciennes ; elle s'étend aussi sur une partie de ceux d'Arras, de Cambrai et d'Avesnes ; et la ville de Douai peut être considérée à peu près comme le centre géographique de cette région où prospèrent les industries les plus variées.

L'une des causes principales de ce développement est la présence de la houille dans un vaste bassin qui alimente non-seulement la contrée dont il occupe le sous-sol, mais encore une grande partie du territoire français. C'est surtout au point de vue des besoins du développement de ce bassin houiller que le canal du Nord a été proposé, et il importe de dire quelques mots de leur importance.

Bassin houiller. — Le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais forme, sur le territoire de ces deux départements, le prolongement du bassin belge de Liège, Charleroi et Mons. Il s'étend depuis la frontière de Belgique, près de Valenciennes et de Condé, jusqu'à la vallée de la Lys près de Thérouanne, sur une longueur d'environ cent kilomètres dont quarante dans le département du Nord et soixante dans celui du Pas-de-Calais.

Sa largeur varie de quinze à deux et même à un kilomètre ; elle est, en moyenne, de douze.

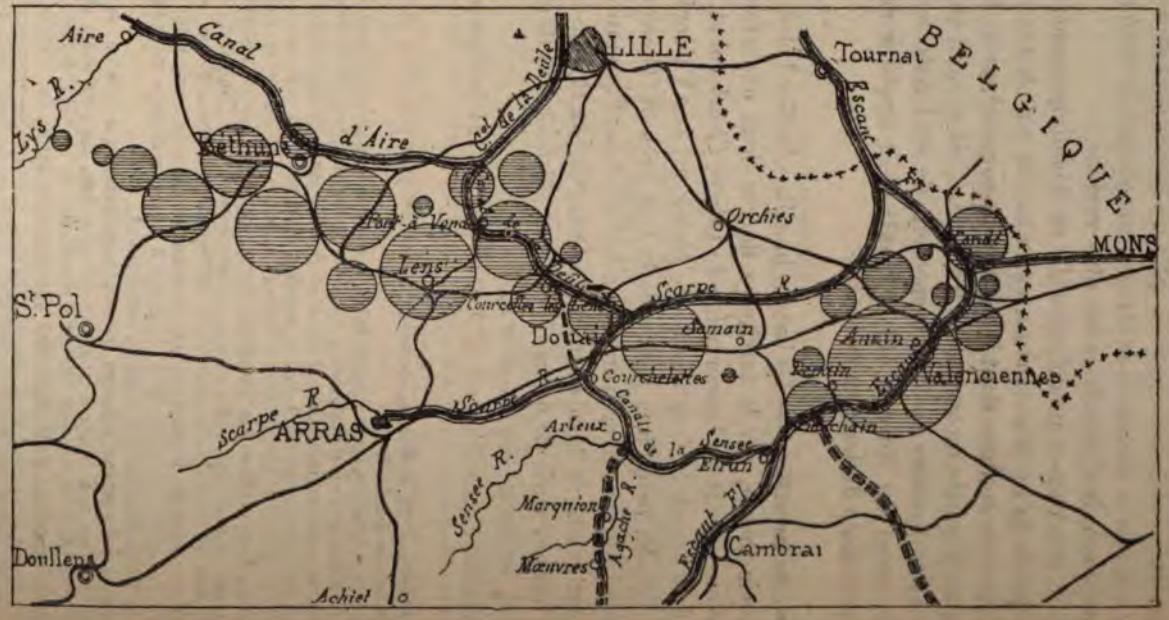
La surface concédée en 1878 était de 124.721 hectares, dont

du département de la Seine, lequel a contribué pour plus d'un quart aux recettes totales du budget.

Les autres articles, omis dans le tableau ci-dessus, correspondent ou bien à des recettes de peu d'importance, ou bien à des recettes qui se perçoivent en des points déterminés du territoire, et dont le montant figure alors indument dans le total correspondant à certains départements. Ainsi, les recettes de la douane sont inscrites exclusivement dans les départements frontières, l'impôt sur les recettes des chemins de fer, payé par les Compagnies, est inscrit aux départements où se trouvent les sièges de ces Compagnies, c'est-à-dire, pour la presque totalité, dans le département de la Seine, etc. Ces recettes ne peuvent, équitablement, être attribuées entièrement aux départements où elles sont inscrites, bien qu'il soit impossible de déterminer dans quelle proportion les autres y contribuent.

Même pour les autres recettes, cette détermination est difficile, et la proportion varie un peu, suivant le mode d'évaluation. La préfecture du Nord a publié, en 1878, un résumé duquel il résulterait qu'en 1877, le département du Nord a contribué pour 5,57 0/0 aux recettes totales du Trésor, tandis que le tableau ci-dessus, dont les chiffres sont extraits des publications officielles du ministère des finances (*Bulletin mensuel*), ne donne que 4,19 0/0. D'après l'estimation publiée par la préfecture du Nord, la part contributive du département du Nord, dans l'impôt français, serait même supérieure à 5,57 0/0. Elle serait évaluée à 1/14, c'est-à-dire à plus de 7 0/0.

Les cercles hachurés représentent, à l'échelle de 1 millimètre carré pour 5,000 tonnes, les quantités de houille extraites en 1878 dans chacune des concessions du bassin du Nord et du Pas-de-Calais.



Échelle de 1 à 750,000.

Canaux et rivières canalisées. Canaux projetés.

65.177 dans le département du Nord et 59.544 dans celui du Pas-de-Calais. Les recherches poursuivies dans ce département, au sud et à l'ouest du bassin, permettaient d'espérer un accroissement notable de ce dernier chiffre.

Le basssin houiller du Nord est exploité depuis le siècle dernier. En 1836, il produisait déjà plus de 600.000 tonnes de houille, et en 1850, un million de tonnes environ.

Le bassin du Pas-de-Calais n'a été exploité qu'à partir de 1851 et sa découverte a été l'origine d'un accroissement rapide de la production. La quantité de houille extraite dans les deux départements s'éleva successivement :

En 1851 à 1.054.094 tonnes.
En 1860 à 2.206.908 —
En 1869 à 4.336.183 —
En 1878 à 7.069.855 —

Dans cette année 1878, la production totale de la France avait été de 16.960.916 tonnes, et sa consommation totale de 24.555.300 tonnes. Les départements du Nord et du Pas-de-Calais avaient donc fourni plus des deux cinquièmes de la houille produite et près des trois dixièmes de la houille consommée en France.

Les sept millions de tonnes de houille extraites dans ce bassin l'avaient été par 33 compagnies concessionnaires dont la carte (p. 426) montre l'emplacement et l'importance relative. La production était loin d'être arrivée à son apogée, et les travaux neufs destinés à en favoriser l'accroissement étaient considérables. Dans le Pas-de-Calais seulement, en effet, les compagnies avaient consacré à ces travaux, pendant les dix dernières années, une somme totale de soixante-sept millions trois cent mille francs, savoir :

De 1868 à 1872.	17.550.000 fr.
Soit en moyenne 3.510.000 fr. par année.	
De 1873 à 1877.	49.750.000
Soit en moyenne 9.950.000 fr. par année.	
Total de 1868 à 1877.	67.300.000 fr.

Des dépenses analogues avaient été faites dans le département du Nord, de sorte que, pendant cette période de dix

ans, plus de cent millions de francs avaient été consacrés par les Compagnies houillères à l'accroissement de leur puissance productrice.

Les richesses minérales à exploiter sont d'ailleurs considérables et justifient l'importance de ces travaux. Dans un rapport adressé le 3 octobre 1873 à M. le Ministre des travaux publics, M. de Clercq, ingénieur des mines, évaluait à 13 milliards de tonnes la quantité de houille renfermée dans le bassin ; les évaluations les plus modérées, faites par les ingénieurs des Compagnies, ne sont pas inférieures à 6 milliards de tonnes, ce qui permettrait d'alimenter une production de 20 millions de tonnes pendant trois siècles.

On était donc en droit de considérer comme assurée la continuation du développement de la production, et on pouvait admettre qu'elle atteindrait et dépasserait facilement 15 millions de tonnes par an.

Si d'une part, en effet, les moyens de production étaient puissants, de l'autre, les besoins de la consommation s'accroissaient tous les jours. D'un chiffre de 7.300.000 tonnes en 1850, la consommation totale de la houille en France arrivait, en 1878, à dépasser 24.500.000 tonnes, dont le tiers environ, soit près de 8 millions de tonnes, était demandé à l'étranger, c'est-à-dire à la Belgique, à l'Angleterre et à l'Allemagne. La part proportionnelle fournie à la consommation générale par le bassin du Nord et du Pas-de-Calais avait subi une augmentation correspondante. Elle n'était guère que d'un septième en 1850, elle s'élevait déjà, en 1870, au cinquième environ, elle dépassait le quart en 1878, et l'on prévoyait le moment où elle atteindrait le tiers de la consommation totale de la France.

Insuffisance des débouchés. — Cependant, dès 1877, et peut-être même auparavant, il se produisait dans la région industrielle du Nord, où le développement des autres industries avait accompagné celui de l'extraction de la houille, un malaise encore mal défini, mais provenant de l'insuffisance des voies de communication destinées à relier ce centre de production aux centres de consommation de l'intérieur de la France.

L'industrie houillère se préoccupait beaucoup, en particulier, des conséquences que pourraient avoir pour elle les travaux d'approfondissement de la Seine entre Rouen et Paris, alors projetés par le gouvernement.

Aussi, lorsque les deux décrets de M. le Président de la République, rendus sur la proposition de M. le Ministre des travaux publics le 2 et le 15 janvier 1878, eurent institué des commissions régionales chargées d'étudier les questions relatives à l'amélioration des voies de transport et des ports de commerce, et à la création de voies nouvelles, une grande agitation se produisit, dans la région du Nord, parmi les industriels, les agriculteurs et les producteurs de toute sorte. Les préfets du Nord et du Pas-de-Calais, pour répondre à ce mouvement de l'opinion publique, et pour en apprécier la direction, constituèrent des commissions locales de travaux publics qu'ils composèrent des représentants les plus autorisés des intérêts industriels et agricoles de leur département.

Les ingénieurs furent appelés à faire connaître, à ces commissions locales, les projets qu'ils avaient l'intention de soumettre aux commissions régionales, et dans la note remise par lui le 1er mars 1878, M. Bertin, alors ingénieur en chef du service des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, insistait sur la nécessité de créer de nouvelles lignes de navigation intérieure pour desservir la région du Nord.

Canal de Douai à Rouen. — Constatant que le marché de Rouen, qui consommait environ 800,000 tonnes de houille par an, était à peu près fermé aux houillères du Nord, en raison de la concurrence anglaise, il indiquait, comme de première nécessité, la création d'un canal direct de Douai à Rouen, déjà demandé par le comité des houillères. Ce canal devait s'embrancher sur celui de la Sensée à Arleux, passer à Croisilles, Albert, Amiens, Conty, Beauvais, Gournay, et arriver à Rouen par le vallon de Darnétal, en suivant le tracé qui avait déjà été proposé en 1820 par M. Becquey, directeur général des ponts et chaussées.

M. Bertin indiquait, comme complément de cette entreprise, un embranchement de Beauvais à Creil, suivant la vallée du

Thérain, qui réaliserait ainsi, entre le bassin houiller et l'Oise, une ligne nouvelle vers Paris, un peu plus courte que la ligne existante et pouvant suppléer cette dernière en temps de chômage, en même temps qu'elle diminuerait son encombrement en la débarrassant des bateaux allant de Dunkerque et Lille vers Paris.

Canal de l'Oise à la Seine. — Enfin, il proposait, avec diverses autres lignes, la construction, par la vallée de Montmorency, d'un canal de l'Oise à la Seine, destiné à éviter aux marchandises allant du Nord vers Paris l'énorme détour qu'elles sont obligées de faire entre Méry-sur-Oise et St-Denis, en abrégeant de 44 kilomètres la distance entre ces deux points qui par la ligne existante est de 64 kilomètres.

Vœu de la Commission locale. — La Commission locale du département du Nord, dans sa séance du 9 mars 1878, formulait dans les termes suivants, son vœu au sujet de cette entreprise : « La commission des travaux publics du département du Nord, considérant que, par suite des travaux d'approfondissement de la basse Seine, les transports de l'Angleterre sur Rouen et Paris vont être singulièrement facilités ;

« Que l'on met ainsi les Compagnies houillères et tous les autres producteurs indigènes du Nord dans un état d'infériorité des plus regrettables vis-à-vis de leurs concurrents étrangers ;

« Que l'on avait au contraire promis, dès 1860, de réaliser à l'intérieur, des réformes économiques qui amélioreraient nos conditions de production et de transport ;

« Que les houillères du Nord et du Pas-de-Calais, qui ont fait d'immenses travaux pour subvenir aux besoins du pays, sont loin d'écouler leurs produits ;

« Qu'un canal direct sur Amiens, Rouen et Paris augmenterait considérablement leurs débouchés ;

« Que ce canal réunit et traverse des contrées où l'industrie manufacturière, les industries agricoles et la culture elle-même doivent fournir un trafic considérable ;

« Que la ligne (de chemin de fer) d'Amiens à Rouen, étant

pour moitié entre les mains de la compagnie de l'Ouest, conservera toujours des tarifs élevés, cette compagnie favorisant de préférence les importations des ports de son réseau sur Paris ;

« Émet avec instance le vœu que le canal d'un point des houillères du Nord et du Pas-de-Calais sur Amiens, Rouen et Paris soit classé au premier rang parmi les voies navigables à construire dans le plus bref délai possible. »

Par un autre vœu, la Commission demandait également la construction du canal de l'Oise à la Seine par la vallée de Montmorency.

Des vœux analogues étaient formulés en même temps par la commission locale du département du Pas-de-Calais.

Utilité d'un canal vers Paris. — Peu à peu, cependant, l'opinion publique s'éclairait et les besoins véritables arrivaient à se préciser. On reconnaissait qu'il serait toujours difficile, sinon impossible, aux producteurs de houille du Nord de soutenir la concurrence anglaise sur le marché de Rouen, qu'en conséquence le canal demandé vers Rouen risquait fort, une fois construit, de rester à peu près inutile et qu'il était préférable d'améliorer les conditions du transport vers Paris, centre de consommation bien plus important que Rouen et vers lequel il importait de diriger tous les efforts. Ce n'était plus, en effet, le seul marché de Rouen qui menaçait d'être absorbé par la concurrence anglaise. La loi du 6 avril 1878 qui venait d'être votée, autorisait le gouvernement à exécuter les travaux nécessaires pour porter à trois mètres le tirant d'eau de la Seine entre Paris et Rouen et elle inspirait aux exploitants de houille du Nord et du Pas-de-Calais de vives inquiétudes pour l'avenir de leur industrie. Ces travaux devaient amener dans les prix des transports de Rouen à Paris une notable diminution qui favoriserait l'arrivée des charbons anglais sur le marché parisien, d'où ils pourraient chasser les produits français de la région du Nord.

C'est dans cette disposition d'esprit que M. de Freycinet, alors ministre des travaux publics, trouva les industriels du Nord, dans le voyage qu'il fit en septembre 1878. Partout il lui fut présenté des vœux pressants pour l'ouverture d'une

nouvelle ligne de communication par eau entre la région du nord et Paris, seule solution qui parût efficace pour conjurer les funestes effets des travaux projetés sur la Seine.

Commission d'études. — A peine de retour à Paris, M. de Freycinet instituait, le 19 septembre 1878, une commission spécialement chargée d'étudier les moyens propres à mettre les houillères du Nord en situation de soutenir la concurrence étrangère, lorsque les travaux d'approfondissement projetés sur la Seine seront exécutés.

Cette Commission, dans son rapport du 26 octobre 1878, déclarait :

« Que les travaux d'amélioration de la basse Seine paraissent de nature à avoir des conséquences désastreuses pour les houillères du Nord et du Pas-de-Calais ;

« Que la construction d'un canal direct du Nord à Paris paraît le seul moyen de les mettre en possession de la voie de transport économique qui leur est indispensable pour sauvegarder leur situation actuelle et favoriser leur développement préparé et prochain. »

Conformément au vœu de cette Commission, un service spécial, chargé de faire les études de cette voie navigable, fut constitué à dater du 1er décembre 1878. Il devait, tout en conservant la plus grande latitude, s'inspirer du programme général tracé par cette Commission dans les termes suivants :

Programme. — « Le tracé qui paraît pouvoir servir de base aux études se détacherait de la ligne actuelle à l'origine du canal Saint-Denis. A partir de ce point, il irait rejoindre Méry-sur-Oise, emprunterait l'Oise jusqu'à Creil, se dirigerait ensuite vers Amiens soit par les vallées de la Bresche et de la Noye, en passant par ou près Clermont et Breteuil, soit par les vallées du Thérain et de la Celle, en passant par ou près Beauvais.

« A partir d'Amiens, le canal remonterait la vallée de l'Ancre et franchirait en souterrain le faîte séparatif des vallées de la Somme et de la Scarpe.

« Au sortir du souterrain, vers Croisilles, il se bifurquerait. L'un des embranchements se dirigerait vers Lens pour desser-

vir les houillères du Pas-de-Calais; l'autre se dirigerait vers Arleux pour desservir le bassin d'Anzin. Si l'embranchement de Croisilles vers Lens, qui devrait passer de la vallée de la Sensée dans celle de la Scarpe, puis de celle-ci dans la vallée de la Souchez, présentait des difficultés trop grandes, il serait peut-être nécessaire d'adopter une voie commune aux deux régions du Nord et du Pas-de-Calais. Cette voie se détacherait de l'embranchement d'Arleux, dans la vallée de la Sensée, vers Étaing, irait joindre la Scarpe par les marais de Sailly, Hamblain, Biache et Vitry, puis, après avoir emprunté cette rivière sur un petit parcours, elle irait gagner le canal de la Haute-Deule vers Dorignies, en laissant Douai à l'est, et évitant, ce qui est indispensable, la traversée si défectueuse de cette ville. Cette solution, sans doute moins satisfaisante que la première, puisqu'elle obligerait les charbons venant de l'Escaut, comme ceux du Pas-de-Calais, à faire un trajet plus long, serait beaucoup plus économique, tout en mettant les deux régions dans des conditions d'égalité suffisantes.

. . . . . .

« Sous réserve que l'alimentation sera reconnue possible et suffisante, la Commission a examiné quel doit être le mouillage et quelles doivent être les dimensions des écluses sur la nouvelle voie.

« Tout le monde est d'accord pour admettre que l'augmentation du tonnage des bateaux a pour résultat de faire baisser le prix du fret. A ce point de vue, l'on serait fondé à soutenir que l'on ne doit pas s'arrêter, pour un canal appelé à avoir un trafic très considérable, aux dimensions fixées pour les écluses par la décision ministérielle du 20 juillet 1877, dimensions qui permettent de livrer passage, avec un mouillage de deux mètres, à des bateaux portant un chargement de 300 tonneaux.

« Mais on ne peut méconnaître qu'il y aurait des inconvénients graves à s'écarter de ce type. En effet la batellerie, qui est loin d'être dans une situation prospère, ne pourrait peut-être pas renouveler son matériel, et il est douteux qu'elle ait intérêt à construire des embarcations qui ne pourraient circuler sur tous les canaux de la France.

« D'un autre côté, l'augmentation du mouillage, comme celle de la largeur des écluses, a pour conséquence d'accroître les pertes d'eau par évaporation (?) et par infiltrations, et le volume consommé par le passage des bateaux d'un faible tonnage.

« Par conséquent, l'alimentation qui, en tout état de cause, présentera des difficultés, serait rendue plus difficile, plus coûteuse et peut-être impossible.

« Enfin, sans parler des augmentations de dépenses qu'entraînerait, dans de telles conditions, la construction du nouveau canal et notamment des souterrains, on serait fatalement amené à remanier au moins celles des voies navigables actuelles qui mettraient ce canal en communication avec les diverses exploitations des bassins du Nord et, de ce chef encore, on aurait à faire face à un supplément de dépenses très considérable.

« Un des membres de la commission a d'ailleurs émis l'avis qu'il est possible, sans changer le mouillage ni la largeur des écluses, d'arriver à porter à 600 tonneaux le chargement des bateaux. Il suffit pour cela d'en doubler la longueur actuelle.

« Cette combinaison paraît rationnelle, puisque l'effort à vaincre pour la traction d'un bateau est, d'après la formule de d'Aubuisson, indépendant de sa longueur.

« Elle conduirait à donner aux écluses une longueur utile de 115 mètres, de manière, qu'elles puissent contenir à la fois un bateau de 600 tonneaux et son remorqueur. Le sas serait divisé en trois parties par des portes, de manière à faire passer isolément un ou deux bateaux sans augmenter la dépense d'eau.

« L'application de ce système n'aurait aucun des inconvénients énumérés plus haut, car on pourrait utiliser le nouveau canal avec les bateaux actuels en en réunissant deux à la suite l'un de l'autre.

« D'ailleurs, ce canal devrait être construit de manière à supprimer autant que possible les chômages, à accélérer les manœuvres et à rendre la traction facile.

« A cet effet, une écluse de la longueur ordinaire serait accolée à chacun des grands sas. Toutes les écluses auraient de

fortes chutes, de manière à en réduire le nombre. Elles seraient pourvues des appareils nécessaires pour opérer très rapidement le remplissage et la vidange des sas et munies d'aqueducs latéraux pour faciliter l'entrée des bateaux en remonte.

« Les souterrains seraient établis assez bas pour ne pas multiplier outre mesure les montées et les descentes.

« Les ponts fixes seraient construits de manière à embrasser, sans rétrécissement aucun, la cunette et les digues, et l'on proscrirait, d'une manière absolue, les ponts fixes sur la tête aval des écluses.

« Enfin, on donnerait aux courbes de très grands rayons et les berges seraient perreyées.

« La Commission tient à répéter que ce programme, qui lui paraît pouvoir servir de base aux études techniques, ne saurait avoir aucun caractère limitatif.

« Sur la proposition d'un de ses membres, la majorité a même admis qu'il conviendrait de chercher à obtenir un mouillage de $2^{m},50$, tout en conservant les écluses jumelles dont l'une serait disposée pour recevoir un convoi de deux ou trois bateaux.

« Mais une étude dans ce sens ne devrait être faite qu'à titre accessoire et seulement dans le cas où l'on trouverait des ressources plus que suffisantes pour assurer l'alimentation d'un canal présentant un mouillage de 2 mètres. »

Premières études. — Le service d'études institué à dater du 1er décembre 1878 se mit immédiatement à l'œuvre. L'une des principales objections qui étaient faites au projet du nouveau canal était le manque d'eau nécessaire à l'alimentation, et on vient de voir que la Commission d'études s'en était sérieusement préoccupée. C'était donc la première question à résoudre.

Le canal projeté, entre le Nord et la vallée de l'Oise qu'il devait emprunter sur une certaine longueur, avait à franchir deux faîtes, le premier entre la Sensée et la Somme, le second entre la Somme et l'Oise. Pour la traversée du premier, une seule direction était indiquée : celle de Croisilles à Albert, sui-

vant d'un côté la vallée de la Sensée, de l'autre celle de l'Ancre, affluent de la Somme. Pour le second, la Commission avait indiqué deux directions, l'une par les vallées de la Celle et du Thérain, passant par Beauvais, l'autre par les vallées de la Noye et de la Bresche, passant par Breteuil et Clermont, ou bien, avec une légère variante, par les vallées de l'Avre et de la Bresche en passant par Montdidier. Le passage du premier faîte était possible et même facile suivant la direction indiquée. Le bief de partage pouvait être placé au-dessous du niveau des sources de l'Ancre qui auraient ainsi contribué à l'alimentation pendant une partie notable de l'année, mais qui, insuffisantes pendant la saison sèche, auraient dû être suppléées au moyen d'eau élevée par des machines. L'alimentation de cette section pouvait donc être considérée comme assurée.

Il n'en était pas de même de la seconde.

Entre Amiens et l'Oise, soit que l'on passe par Beauvais, par Breteuil ou par Montdidier, on rencontre de hauts et larges plateaux crayeux au-dessus desquels le chemin de fer a pu s'élever par des pentes savamment ménagées sur les deux versants, mais qui présentent à l'ouverture d'un canal des difficultés à peu près insurmontables. Une étude sommaire poursuivie en décembre 1878 et janvier 1879, malgré les rigueurs d'un hiver exceptionnel pendant lequel la terre est restée à peu près constamment couverte de neige, a fait reconnaître que suivant l'une ou l'autre des directions indiquées, le canal devrait avoir un grand nombre d'écluses, des biefs très courts et un souterrain de 10 à 12 kilomètres de longueur. Mais c'est surtout pour l'alimentation que l'on rencontrait des impossibilités. On ne trouvait, sur ces plateaux, aucune source de quelque importance, la construction de réservoirs y était impraticable à cause de la perméabilité du sol, et les grands cours d'eau auxquels on aurait pu emprunter de l'eau pour l'élever par des machines se trouvaient fort éloignés et à un niveau très inférieur à celui des biefs de partage, de sorte que les dépenses d'une alimentation artificielle auraient été excessives.

Possibilité d'un nouveau tracé. — En même temps que l'on faisait ces reconnaissances, on constatait la possibilité d'adopter un nouveau tracé faisant disparaître la plupart des difficultés. Si, au départ d'Arleux [1], on remonte non pas la vallée de la Sensée, mais celle de l'Agache, son affluent, vers Marquion et Hermies, on se trouve à quelques kilomètres du village d'Itres, près duquel coule la rivière de la Tortille, affluent de la Somme. Le faîte séparatif des deux vallées peut donc être franchi en ce point, et le canal, suivant cette direction, vient rejoindre la Somme, non plus à Amiens, mais un peu en aval de Péronne. La traversée du premier faîte s'effectuait ainsi dans des conditions aussi bonnes, sinon meilleures, qu'en se dirigeant vers Amiens. La longueur à construire, d'Arleux à Péronne, est en effet plus courte que celle d'Arleux à Amiens et, d'après les premières reconnaissances, le souterrain à construire semblait devoir être aussi plus court dans cette nouvelle direction.

En revanche, les conditions d'alimentation pouvaient paraître un peu moins bonnes. Les sources de la Tortille sont moins abondantes que celle de l'Ancre que l'on aurait utilisées dans le premier tracé, et elles sont aussi un peu moins élevées. Mais ni les unes ni les autres ne pouvaient suffire, en temps ordinaire, à l'alimentation d'un canal à grand trafic et il fallait dans les deux cas prévoir une alimentation artificielle au moyen d'eau élevée par machines; et alors, le tracé par la Tortille redevenait le plus avantageux, car son bief de partage était beaucoup plus rapproché, en plan et surtout en élévation, du cours d'eau où l'on devait puiser les eaux à élever, c'est-à-dire de la Somme.

Mais c'est surtout à partir de la vallée de la Somme que le nouveau tracé présentait des avantages sérieux. Pour passer de cette vallée dans celle de l'Oise, l'on pouvait, à partir de Péronne, et sans s'écarter notablement de la direction générale à suivre, profiter d'un grand coude de la Somme pour suivre cette rivière ou plutôt son canal latéral, jusqu'aux envi-

1. On suppose que le lecteur a sous les yeux la carte de l'état-major au 80.000e, ou tout au moins la réduction au 320.000e.

rons de Ham, et on se trouvait là, à vol d'oiseau, à vingt kilomètres environ de Noyon et de la vallée de l'Oise.

Le passage d'une vallée à l'autre, dans cette direction, semblait d'ailleurs facile ; du faîte qui les sépare descendent d'un côté l'Ingon, dont un affluent vient d'Ercheu et de Libermont, et la fontaine bouillante, ou rivière d'Allemagne, qui sort du bois de Bonneuil ; de l'autre, la Verse et son affluent, la Mève, dont les eaux réunies tombent dans l'Oise à Noyon. Ce faîte est bien moins élevé en ce point qu'entre Amiens et Creil. Il n'est plus constitué par un plateau crayeux absolument dépourvu d'eau, on y rencontre au contraire des affleurements argilo-sableux et un grand nombre de sources. Le tracé et l'alimentation d'un canal devaient y être faciles.

Arrivé dans la vallée de l'Oise, on pouvait emprunter le canal latéral à l'Oise, puis l'Oise canalisée jusqu'à Méry-sur-Oise, point où devait s'embrancher la coupure à faire de l'Oise à la Seine.

Étude sommaire. — Cette étude sommaire, comparant entre eux les divers tracés et fournissant pour chacun d'eux une évaluation détaillée des dépenses, était terminée à la fin de février 1879, moins de trois mois après la date officielle de la constitution du nouveau service. Elle aurait pû être présentée sous la forme d'un avant-projet et certainement, pour bien des lignes nouvelles, les avant-projets qui ont servi de base aux enquêtes ne contenaient pas de renseignements plus précis. Mais l'on se trouvait dans une situation particulièrement délicate.

Le nouveau service d'études avait été constitué par le Ministre malgré l'opinion contraire du Conseil des ponts et chaussées, qui considérait comme chimérique ou inutile la création du canal demandé par les industriels du Nord. Un avant-projet n'avait donc quelque chance d'être adopté que s'il était appuyé sur des études absolument complètes, ne laissant aucun doute sur la possibilité de l'exécution et sur le chiffre de la dépense.

D'un autre côté, pendant toute l'année 1878, l'opinion publique, dans le Nord et dans la région intermédiaire entre le

Nord et Paris, s'était habituée à l'idée d'un canal passant par Amiens ; des rivalités commençaient à se produire entre les localités situées sur les divers tracés d'Amiens à Creil : Beauvais, Montdidier, Breteuil, etc. Une étude sommaire présentée à cette époque et sacrifiant à la fois tous ces intérêts rivaux en même temps que ceux de la ville d'Amiens aurait été accueillie avec défaveur. Il fallait, pour faire adopter le nouveau tracé, y préparer l'opinion.

L'étude sommaire suffisait pour démontrer, à des hommes techniques, la supériorité de ce tracé sur les autres ; aussi l'ingénieur en chef du service, en la présentant le 28 février 1879, demandait-il simplement l'autorisation de poursuivre ses études suivant la nouvelle direction à l'exclusion des autres.

Avis du Conseil général des ponts et chaussées. — Cette demande, soumise à l'examen du Conseil des ponts et chaussées, donna lieu, dans cette Assemblée, à une très longue discussion, dont le résumé fut transmis aux ingénieurs le 28 mai 1879. Le Conseil reconnaissait unanimement que la préférence accordée au tracé passant par Marquion et Péronne reposait sur des raisons péremptoires et il émettait l'avis :

« Que sur les quatre tracés étudiés, il convient d'écarter les trois premiers et de ne retenir, pour en faire l'objet d'études plus approfondies, que le quatrième, lequel, commençant à la Haute-Deule, près Noyelle-Godault, passe par ou près Arleux, Péronne, de Ham à Noyon et de Méry-sur-Oise pour aboutir à Paris au bassin de la Villette. »

Le Conseil invitait en même temps les ingénieurs :

A comprendre dans leur estimation les dépenses à faire, soit sur le canal de la Somme entre Péronne et Ham, soit sur le canal latéral à l'Oise et l'Oise canalisée pour harmoniser les diverses sections de la nouvelle ligne du Nord à Paris ;

A étudier en même temps ce que coûterait le prolongement du canal latéral à l'Oise de Janville à Méry-sur-Oise.

C'est, en effet, pendant la discussion qui a eu lieu dans le sein du Conseil des ponts et chaussées que l'idée du prolongement du canal latéral à l'Oise, de Janville à Méry-sur-Oise, s'est

affirmée pour la première fois. L'un des membres du Conseil avait longuement insisté sur l'effet des grandes crues de l'Oise qui, pendant près d'un mois chaque année, gênaient la navigation au point de l'arrêter complètement sur la rivière canalisée en aval de Janville et par suite sur la ligne tout entière. « On voit chaque année, » disait-il, « plus de 500 bateaux stationner en amont de Janville, à 7 kilomètres de Compiègne, sur le canal latéral à l'Oise, où ils s'accumulent en attendant que l'état de la rivière leur permette de continuer leur route vers Paris ou vers Reims... Ce qu'il faudrait faire avant tout, ce serait de supprimer cette anomalie d'un excellent canal tombant dans une rivière canalisée, ce serait de continuer le canal latéral à l'Oise de Janville à Méry tout au moins, sauf à examiner ensuite la question d'une jonction directe entre Méry et le bassin de la Villette. »

Les ingénieurs du service de la navigation de la Belgique vers Paris étaient en même temps invités à étudier : « d'une part, si l'on ne pourrait pas, en doublant les écluses de cette ligne, et au besoin le grand souterrain du canal de Saint-Quentin, réaliser les avantages qu'on peut se promettre d'une ligne un peu plus courte ; d'autre part, si la différence des résultats ainsi obtenus serait en rapport avec la différence des dépenses. »

Les ingénieurs des deux services étaient invités à se concerter pour l'adoption de bases d'estimation communes.

Opérations sur le terrain. — Les opérations sur le terrain furent poursuivies, dans le service du canal du Nord, pendant presque toute l'année 1879. On releva, au tachéomètre, le plan du terrain dans les vallées que devrait suivre le tracé, sur une largeur variable ne descendant jamais au-dessous de 3 à 400 mètres, et atteignant, à la traversée des faîtes, une étendue de plusieurs kilomètres. Ces plans furent rapportés à l'échelle de $\frac{1}{2.000}$ et les courbes de niveau y furent tracées à l'équidistance de deux mètres et même d'un mètre lorsque les déclivités étaient peu prononcées [1]. Avec des

1. Pour être présentés à l'Administration, ces plans furent réduits, au moyen du pantographe, à l'échelle de $\frac{1}{10.000}$.

documents aussi détaillés, la direction à suivre pouvait être exactement déterminée, et les profils en travers relevés sur les plans étaient d'une exactitude suffisante pour un projet définitif. Il en fut dessiné et calculé plus de quatre mille, soit quatre en moyenne par hectomètre, pour les 111 kilomètres du tracé situés en dehors de la vallée de l'Oise. Pour le prolongement du canal latéral à l'Oise, de Janville à Méry, demandé par le Conseil des ponts et chaussées, il n'y avait pas à craindre l'objection de l'impossibilité de l'entreprise. La forme très régulière de la vallée permettait d'ailleurs d'obtenir une exactitude suffisante avec une étude beaucoup plus sommaire. On se contenta de lever un profil en long suivant une ligne tracée à l'avance d'après les minutes au $\frac{1}{40.000}$ de la carte de l'État-major, et quelques profils en travers sur les points, très rares, où le terrain n'était pas sensiblement horizontal.

En même temps, on effectuait des sondages à des distances variables suivant les besoins et partout où, soit l'aspect du terrain, soit les indications de la carte géologique, portaient à penser qu'il pouvait être utile de le faire. On entreprenait aussi le jaugeage des sources et des cours d'eau. Pour les ouvrages d'art, on avait adopté et dessiné en détail un certain nombre de types, on en avait fait les métrés, qui se trouvaient ainsi les mêmes dans toute l'étendue du service. Les prix élémentaires seuls variaient suivant l'emplacement des ouvrages.

Dans ces conditions, on pouvait donner à l'étude du projet des garanties d'exactitude bien supérieures à celles dont on se contente ordinairement dans les avant-projets. Le travail se poursuivit pendant toute l'année 1879, et le 27 février 1880 fut adressé à l'Administration l'avant-projet dont la description fait l'objet du second chapitre.

Utilité du Canal. — En même temps on recueillait des renseignements destinés à justifier l'utilité du canal.

La production du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais avait atteint, en 1878, le chiffre de 7 millions de tonnes.

L'importation de houille étrangère, qui se fait principalement par la frontière du Nord, était, pour la partie de cette

frontière comprise entre Boulogne et Givet, de 4 millions de tonnes environ. Les deux départements producteurs consommaient 6 millions de tonnes, il restait donc environ 5 millions de tonnes de houille à expédier vers Paris ou l'intérieur de la France, avec lequel la région du Nord est mise en communication soit au moyen du chemin de fer du Nord, soit au moyen du canal de Saint-Quentin et du canal de la Sambre à l'Oise.

Ce dernier, éloigné du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, ne peut servir qu'à l'importation des houilles de Charleroi. Il ne reste donc, pour ce bassin, que le chemin de fer ou le canal de Saint-Quentin, ou, plus exactement, la ligne navigable de Mons à Paris, formée d'une succession de canaux et de rivières canalisées.

Imperfection de la voie navigable actuelle. — Cette voie navigable est arrivée depuis longtemps à la limite de sa capacité de transport : son trafic n'augmente plus. Il était, pour les marchandises allant de Mons vers Paris, de 1.600.000 tonnes en 1863, et il était encore de 1.600.000 tonnes en 1878, après avoir varié constamment de 1.500.000 à 1.800.000 tonnes, alors que toutes les autres voies navigables de la région avaient vu, dans la même période de quinze ans, leur trafic augmenter de 50 à 100 0/0.

L'observation directe montrait bien, d'ailleurs, que la limite de la fréquentation était atteinte sur la ligne de Mons à Paris. Les écluses, en supposant que les bateaux y affluent sans interruption, étaient susceptibles de débiter 2.165.000 tonnes par an. Or, par suite de l'inégale répartition du trafic sur la ligne, certaines écluses se trouvaient avoir atteint ce maximum théorique. Celle de Cantimpré, par exemple, située à l'origine du canal de Saint-Quentin, avait livré passage en 1878 à 1.979.000 tonnes, soit 8 0/0 de moins que le maximum. Pendant les quatre mois de mai, juin, septembre et octobre 1878, elle avait écoulé 836.000 tonnes, soit 2 0/0 seulement de moins que le maximum théorique qui, pour ces quatre mois, était de 852.000 tonnes.

Cette ligne navigable était d'ailleurs très imparfaite, et les

transports ne pouvaient s'y effectuer dans des conditions économiques.

Construite à une époque où le bassin d'Anzin existait seul, elle avait emprunté naturellement la vallée de l'Escaut, fort éloignée du bassin du Pas-de-Calais. Les houilles provenant des diverses concessions de ce nouveau bassin, qui s'embarquent sur le canal d'Aire à la Bassée ou sur celui de la Deule entre Béthune et Douai, doivent, pour venir vers Paris, se diriger d'abord vers l'est par le canal de la Sensée avant d'atteindre, près de Bouchain, la ligne de Mons à Paris. Elles sont astreintes à un détour considérable, tel que la distance de Lens à Paris, qui est de 212 kilomètres par chemin de fer, est de 344 kilomètres par eau.

Le canal de Saint-Quentin présente beaucoup de sinuosités, de courbes à faibles rayons, de parties étroites où le croisement des bateaux est impossible et qui imposent à la batellerie des retards importants, dont la conséquence est un accroissement du prix du fret.

Cette voie navigable encombrée et imparfaite ne desservait que d'une manière insuffisante les besoins industriels de la région du Nord en 1878 ; mais son insuffisance était surtout manifeste si on la comparait aux besoins de l'avenir.

Trafic probable du nouveau canal. — On pouvait alors, comme on l'a dit plus haut, prévoir l'époque peu éloignée où le bassin du Pas-de-Calais produirait 15 millions de tonnes par an, lesquelles ajoutées à 4 millions de tonnes provenant de l'étranger donneraient un total de 19 millions de tonnes de houille, dont 7 ou 8, au plus, seraient consommés dans les deux départements producteurs. Il resterait donc environ 11 à 12 millions de tonnes de houille à expédier dans l'intérieur de la France.

Si l'on considère que les houilles représentent, tant sur les chemins de fer du Nord que sur les canaux de cette région, la moitié environ[1] du trafic total, et qu'un accrois-

1. Le tonnage kilométrique des houilles sur le chemin de fer du Nord a été, en 1878, de 51 0/0 de tonnage kilométrique total. Sur le canal de Saint-

sement dans la consommation de la houille correspond à un développement industriel et par suite à une augmentation des transpctrs d'autres marchandises, on pouvait admettre que les 11 à 12 millions de tonnes de houille à transporter entre le Nord et Paris seraient accompagnés d'une quantité à peu près égale des autres éléments de transport, de sorte que le trafic total atteindrait 22 à 23 millions de tonnes.

Si le canal de Saint-Quentin restait la seule voie de communication par eau, sa capacité de transport étant atteinte depuis longtemps, la totalité de l'augmentation devait être prise par le chemin de fer du Nord, dont les tarifs, n'étant plus modérés par la concurrence du canal, pouvaient rester élevés.

Si, au contraire, on construisait un nouveau canal capable de prendre une part importante de l'accroissement du trafic, la concurrence des deux modes de transport était rétablie, au grand avantage des intérêts industriels et commerciaux.

En admettant comme indéfinie la capacité de transport du nouveau canal, et en remarquant qu'avant 1863, à l'époque où le canal de Saint-Quentin n'avait pas encore atteint son maximum, il transportait plus de la moitié du trafic total, on aurait été fondé à supposer que cette proportion se serait maintenue, et que le nouveau canal aurait pris la moitié du trafic de l'avenir; mais pour tenir compte de ce que, depuis 1863, les tarifs du chemin de fer ont été abaissés, cette proportion avait été réduite à 40 0/0. Dans cette hypothèse, les 22 à 23 millions de tonnes à transporter devaient se répartir à raison de 9 millions de tonnes pour la voie d'eau et de 14 millions pour le chemin de fer.

Ces 9 millions de tonnes ne devant pas parcourir toute la distance entre le Nord et Paris, ne représentaient, rapportées à la longueur totale, qu'un tonnage moyen de 7 millions de tonnes environ. Le canal de Saint-Quentin, amélioré, ne pouvait pas recevoir plus de 3 millions de tonnes, il restait 4 millions de tonnes à absorber par le nouveau canal. C'est le trafic qui lui avait été attribué pour la

Quentin, le tonnage des houilles était, à celui des autres marchandises, dans le rapport de 11 à 13, soit près de 52 0/0 du total.

période succédant immédiatement à son ouverture, si l'on admettait que le délai nécessaire à l'exécution des travaux était à peu près celui après lequel l'industrie aurait pris le développement supposé.

En résumé, le canal proposé devait avoir un double but.

Il devait ouvrir un nouveau débouché, permettant aux transports par eau de se développer parallèlement à l'ensemble de toutes les industries, au lieu de rester limités, comme ils l'étaient depuis 1863, à la capacité maximum de trafic du canal de Saint-Quentin.

Il devait réaliser, entre le Nord et Paris, une voie directe et économique, destinée à produire dans le prix du fret un abaissement notable résultant à la fois de la diminution du parcours et des facilités données à la navigation.

Dans ces conditions, le canal pouvait être assuré d'avoir un trafic de quatre millions de tonnes environ.

Ces considérations sur l'utilité du nouveau canal avaient été sommairement indiquées par la Commission d'études techniques. Le Parlement en adopta les conséquences en introduisant, parmi les lignes nouvelles comprises dans la loi de août 1879, relative au classement et à l'amélioration des voies navigables, un « *Canal destiné à mettre en communication la région industrielle du Nord avec Paris.* »

§ II

DESCRIPTION DU PROJET

Avec l'addition du canal latéral à l'Oise de Janville à Méry-sur-Oise, le projet comportait, en fait, la création d'une voie navigable nouvelle entièrement distincte de la ligne actuelle, entre la Deule et le canal Saint-Denis, à l'exception d'une faible longueur empruntée au canal latéral à l'Oise et servant de jonction entre elles.

Tracé. — Pour donner satisfaction au vœu de la Commission d'études qui avait demandé à ce que la traversée de la ville de Douai fût évitée à la batellerie, le tracé étudié partait du canal de la Haute-Deule entre Courcelles-les-Lens et Auby, et, pour éviter d'emprunter la Scarpe, il rejoignait cette rivière au confluent même du canal de la Sensée; il suivait ce canal jusqu'à Arleux, pour se diriger vers la Somme par les vallées de l'Agache et de la Tortille. Il empruntait le canal de la Somme depuis Péronne jusqu'à Canisy, près de Ham, et se dirigeait de là vers Noyon par les vallées de la rivière d'Allemagne et de la Verse. Un embranchement, ouvert de niveau entre Esmery-Hallon et Sommette, mettait le bief de partage de cette section en communication avec le canal de la Somme au-dessus de Ham, et servait en même temps à l'alimentation.

A partir de Noyon, il empruntait le canal latéral à l'Oise jusqu'à Janville où il s'en détachait pour suivre la vallée de l'Oise en se maintenant sur la rive droite de la rivière jusqu'en face du village de Mériel. Il traversait, en ce point, l'Oise sur un pont-canal, suivait la rive gauche jusque près de Vaux, hameau dépendant de Méry-sur-Oise, et, se dirigeant vers Saint-Denis par Pierrelaye et Franconville, il aboutissait au canal Saint-Denis en aval de la huitième écluse de ce canal.

Aux abords du hameau de Vaux, un petit embranchement établissait une communication entre le nouveau canal et l'Oise canalisée.

Comme la présence des courbes, et surtout des courbes à faible rayon, dans un canal, constitue pour les bateaux une gêne considérable, on s'était attaché le plus possible à en diminuer le nombre et à en augmenter le rayon. Les courbes ne figuraient que pour 22 1/2 pour cent de la longueur totale et leur rayon était en général supérieur à 500 mètres. Sur un seul point on avait dû descendre à 300 mètres.

La longueur du tracé étudié était de 186.704 mètres, non compris 49.006 mètres empruntés aux voies existantes, savoir:

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	LONGUEURS	
	à construire.	empruntées aux voies actuelles.
Courcelles-lès-Lens à Courchelettes.	9.000 mètres.	» mètres.
Courchelettes à Arleux.	»	8.886
Arleux à Péronne.	45 454	»
Péronne à Ham.	»	25.360
Ham à Noyon (ligne principale)	24.156	»
— (embranchement).	6.860	»
Noyon à Janville.	»	14.760
Janville à Méry-sur-Oise	75.800	»
Méry-sur-Oise à Saint-Denis (ligne principale)	24.160	»
— — (embranchement).	680	»
TOTAUX.	185.704	49.006

Profil en long. — Pour suivre ce tracé, le canal devait passer successivement de la vallée de la Deule dans celles de la Scarpe, de la Sensée, de la Somme, de l'Oise et enfin de la Seine, en franchissant quatre faîtes, dont le premier, entre la Deule et la Scarpe n'est qu'un pli de terrain sans importance, n'exigeant pas la formation d'un bief de partage.

Le second, au contraire, entre la Sensée et la Somme, sépare le versant de la mer du Nord de celui de la Manche et sa traversée constituait la principale, sinon la seule difficulté de l'exécution du canal.

Au point où il devait être franchi, il a son point culminant à l'altitude 128 du nivellement général de la France, et il se maintient à une altitude supérieure à 120 mètres sur près de 3 kilomètres. Le bief de partage du canal de Saint-Quentin, qui le traverse à 20 kilomètres de distance environ, est établi à l'altitude 83,50. Celui du nouveau canal avait été projeté trois mètres plus bas, soit à l'altitude 80,50 qui est à peu près celle de la retenue légale du moulin d'Étricourt dans la vallée de la Tortille, dont le bief alimentaire se trouvait ainsi confondu avec le bief de partage.

La traversée du faîte s'effectuait alors par un souterrain de 4.544 mètres de longueur, en admettant que cet ouvrage fût construit partout où la tranchée atteindrait une profondeur

supérieure à 20 mètres. Aux abords du souterrain du canal de Saint-Quentin, la profondeur des tranchées atteint 26 mètres et, si l'on avait adopté cette limite, la longueur du souterrain eût été réduite à moins de 4 kilomètres. La longueur du bief de partage projeté était de 19,914 mètres.

Le troisième faîte, entre la Somme et l'Oise est peu accentué au point où il doit être franchi. Il était traversé par un bief de partage établi à ciel ouvert et au niveau du bief supérieur de Ham avec lequel il était relié par l'embranchement de Sommette à Esmery-Hallon, construit de niveau entre les deux, et qui, avec les deux biefs qu'il réunissait, formait, en réalité, un bief unique de plus de 15 kilomètres de longueur.

Enfin, le quatrième faîte, entre l'Oise et la Seine, était franchi à ciel ouvert par une tranchée de 19 mètres environ de profondeur maximum. Le bief de partage pouvait avoir ainsi une longueur de 11.700 mètres. Des études plus complètes poursuivies après la présentation du projet, avaient montré qu'il aurait sans doute été avantageux d'en abaisser l'altitude de quelques mètres. L'augmentation de dépenses de terrassements se trouvait presque compensée par la suppression d'une écluse à chaque extrémité, et par une économie dans les dépenses d'alimentation.

La plupart des écluses projetées avaient une chute voisine de 4 mètres et la déclivité des vallons suivis par le canal est tellement prononcée que, même en adoptant ce chiffre, on avait des biefs très courts. Ce n'était qu'à grand'peine qu'on était arrivé, dans la descente de la vallée de la Tortille, à leur donner une longueur de 500 mètres, y compris celle de l'écluse. Dans la montée entre l'Oise et Pierrelaye, cette longueur avait dû être réduite à 400 mètres.

De pareilles conditions étaient essentiellement favorables à l'établissement d'appareils permettant de faire franchir d'un seul coup aux bateaux de grandes différences de niveau et l'emploi d'appareils de cette nature se trouvait parfaitement motivé.

Mais ces appareils sont encore peu usités, et leur introduction dans l'avant-projet courait risque de le faire rejeter. Il a semblé préférable de présenter le projet avec des écluses ordi-

naires, pour en démontrer la possibilité dans ces conditions, sauf à réserver l'étude des appareils élévateurs qui, dans la pensée de l'auteur du projet, devaient être appliqués concurremment avec les écluses, dans les parties comprises entre Marquion et Péronne, d'une part, entre l'Oise et Pierrelaye, d'autre part. Dans chacune de ces deux sections, il était extrêmement facile d'accumuler, sur un même point, des chutes de 15 à 16 mètres, et d'y appliquer des appareils élévateurs [1].

Le nombre des écluses se répartissait de la manière suivante, entre les diverses sections du canal.

DÉSIGNATION DES SECTIONS	SECTIONS NOUVELLES.		SECTIONS EMPRUNTÉES AUX VOIES EXISTANTES.	
	Nombre d'écluses.	Chute totale.	Nombre d'écluses.	Chute totale.
Courcelles lès-Lens à Courchelettes.	2	8m20	»	»
Courchelettes à Arleux	»	»	2	6m00
Arleux à Péronne.	19	76,30	»	»
Péronne à Ham	»	»	3	9,30
Ham à Noyon (ligne principale). .	9	32,20	»	»
Noyon à Janville.	»	»	1	2,93
Janville à Méry-sur-Oise.	5	10,37	»	»
Méry-s.-O. à St-Denis (ligne ppale).	9	43,00	»	»
— (embranch.).	2		»	»
TOTAUX.	46	170m07	6	18m23

Profil en travers. — En ce qui concerne la largeur du canal, l'estimation avait été faite dans les deux hypothèses d'une largeur de 11 mètres, généralement adoptée sur les canaux du Nord, et d'une largeur de 17 mètres jugée nécessaire pour desservir une navigation très active. Dans les deux cas, le plafond était supposé à 2 mètres au-dessous du niveau de l'eau, et les berges à 1 mètre au-dessus de ce même niveau.

1. Cette indication de M. Flamant nous a décidé à donner dans les Annexes des renseignements développés sur les élévateurs hydrauliques. — Cette question présente une importance exceptionnelle. Un grand projet a été rédigé par M. Bonat de Mandres, au compte d'une réunion d'industriels, pour l'établissement d'un canal entre la Garonne et la Loire supérieure par la vallée de la Dordogne, et l'on n'aurait pu songer à cette ligne sans les ascenseurs. M.-C. L.

On admettait d'ailleurs que les dispositions seraient prises pour rendre facile l'approfondissement du lit jusqu'à $2^m,50$, c'est-à-dire que les radiers des ouvrages et les extrados des siphons, aqueducs, etc., établis sous le canal seraient placés assez bas pour permettre de réaliser cette augmentation de profondeur.

Les berges devaient être perreyées au niveau de l'eau pour être à l'abri des dégradations causées par le passage des bateaux à vapeur, et la cunette devait être rendue étanche par un bétonnage partout où cette mesure aurait été reconnue nécessaire.

Le canal était bordé de deux chemins de halage de 4 mètres de largeur chacun, empierrés sur 3 mètres de largeur.

Écluses. — Le type d'écluses avait été très longuement discuté. On a vu que la Commission d'études avait adopté, pour les dimensions en largeur et en profondeur des écluses du nouveau canal, celles qui avaient été fixées par la décision ministérielle du 20 juillet 1877 pour les écluses des canaux les plus importants de la France, mais qu'elle avait demandé, pour les sas, une longueur de $115^m,50 = 3 \times 38^m,50$, suffisant au passage simultané de trois bateaux. Cet avis de la Commission d'études n'était pas unanime et il était bien loin d'être ratifié par l'opinion des principaux intéressés. Au contraire, celle-ci, surexcitée par les articles des journaux de la région qui ne désignaient le nouveau canal autrement que sous le nom de « *Grand* canal du Nord, » n'admettait pas que l'on pût avoir, sur cette nouvelle ligne, des bateaux de moins de cinq ou six cents tonneaux, analogues à ceux qui peuvent remonter la Seine de Rouen à Paris.

La question fut reportée devant le Comité des houillères du Nord et du Pas-de-Calais qui, après y avoir consacré plusieurs séances, se rallia enfin, le 8 janvier 1880, à l'avis que les écluses devaient avoir une largeur de $5^m,20$, et devaient être formées de deux sas jumeaux, l'un de $38^m,50$ de longueur utile, l'autre de 78 à 80 mètres, destiné à recevoir deux bateaux de $38^m,50$.

En résumé, le Comité des houillères était d'avis de conser-

ver aux bateaux leurs dimensions actuelles en longueur et en largeur, et il ne demandait une longueur double pour l'un des sas de l'écluse qu'en vue de l'énorme trafic que le canal était appelé à desservir, et afin de permettre le passage d'un plus grand nombre de bateaux dans un temps donné.

Deux sas jumeaux de longueur égale étaient suffisants pour desservir facilement un trafic annuel de 4 millions de tonnes, et l'adoption d'une longueur double pour l'un d'eux n'aurait sans doute pas doublé sa capacité de fréquentation. Si deux sas jumeaux devenaient insuffisants par suite de l'accroissement du trafic, la meilleure solution paraissait être d'en construire un troisième parallèle aux deux premiers. C'est pourquoi l'avant-projet comportait simplement des écluses formées de deux sas parallèles, de 38^{m},50 de longueur utile, constituant une double voie.

Ces écluses devaient d'ailleurs être construites de telle manière que le mouvement des bateaux y fût facile, que les manœuvres pussent s'y effectuer rapidement, afin de diminuer autant que possible la durée du passage. On verra plus loin, dans la description détaillée qui sera faite du type présenté à l'administration, au moyen de quelles dispositions on se proposait d'obtenir ces résultats.

Ponts. — La cunette du canal ayant une largeur de 17 mètres au plafond, et une profondeur de 3 mètres, sa largeur en gueule, en supposant les talus réglés à 3 de base pour 2 de hauteur, devait être de 26 mètres. Un pont par-dessus, établi de manière à ne produire aucun rétrécissement, et devant embrasser en même temps les deux chemins de halage, aurait dû avoir une ouverture de 34 mètres. Mais cette largeur n'est pas strictement nécessaire. On peut, en effet, sans grand inconvénient, rétrécir la passe navigable sous le pont, tout en laissant au plafond une largeur de 11 mètres, suffisante pour deux bateaux, raidir les talus de la cunette de manière à ne lui donner que 17 mètres de largeur en gueule, et réduire à 3 mètres la largeur de chaque chemin de halage. La portée du pont se trouve ainsi ramenée à 23 mètres et c'est ce chiffre qui avait été admis dans l'avant-projet.

interminable des procès auxquels a donné lieu la prise d'eau de Lesquielles pour l'alimentation du canal de Saint-Quentin, de la part de tous les usiniers de la vallée de l'Oise.

L'alimentation, par machines, du bief de partage du nouveau canal, se présentait dans des conditions très faciles. Il existe en effet, aux deux extrémités de la section d'Arleux à Péronne, d'immenses réservoirs naturels que l'on peut considérer comme inépuisables : les marais de la Sensée d'un côté, ceux de la Somme de l'autre, qui révèlent l'existence d'une nappe souterraine abondante et qui sont traversés par des cours d'eau dont le débit n'est jamais inférieur à 1.500 litres pour la Sensée, et à 3 mètres cubes et demi pour la Somme. Les besoins du bief de partage, très largement évalués [1], exigeraient à peine 2 mètres cubes par seconde, sur lesquels 200 litres au moins seraient fournis par les sources de la Tortille. Il resterait donc, au maximum, 1.800 litres à élever par machines, et afin d'éviter d'avoir, dans le bief de partage, un courant nuisible à la marche des bateaux, on avait supposé que l'alimentation se ferait par les deux extrémités de ce bief, les machines élévatoires amenant ainsi, d'un côté, 900 litres pris aux marais de la Sensée et, de l'autre, 900 litres pris aux marais de la Somme. Le détournement de ce volume d'eau se faisait sans apporter de perturbation sérieuse au régime des cours d'eau, car il n'avait pas un caractère définitif; les eaux prises et amenées dans le bief de partage devaient redescendre sur chaque versant et rentrer dans les réservoirs d'où elles avaient été tirées, diminuées seulement de la très petite quantité perdue par l'évaporation.

L'alimentation se trouvait ainsi assurée dans des conditions

1. Voici, en quelques mots, comment peut s'établir cette évaluation :

180 éclusées par jour à 900 mètres cubes l'une, consommeront..... 162.000 m.

Les pertes par évaporation et infiltrations, sur 40 kilomètres de largeur, à raison de 250 litres par jour et par mètre courant, exigeront.... ..... 10.000

Total par jour..... 172.000 m.

soit par seconde 1.991 litres, ou 2 mètres cubes en chiffre rond.

L'alimentation du canal de Saint-Quentin, par un trafic annuel de 2.700.000 tonnes, n'exige que 800 litres environ par seconde.

absolues de sécurité, sans que l'on pût avoir à redouter un chômage par suite d'insuffisance du débit des sources, par suite de vidange accidentelle d'un réservoir, ou par tout autre des accidents qui se produisent dans l'alimentation des canaux. La dépense annuelle, comptée à raison de 0 fr. 25 par 1.000 mètres cubes élevés à 1 mètre de hauteur, c'est-à-dire notablement au-dessus de ce qu'elle aurait sans doute coûté réellement, devait s'élever à 300.000 francs par an, chiffre certainement inférieur à l'intérêt du capital qui aurait été nécessaire pour ouvrir une rigole pour l'alimentation naturelle, depuis l'Oise jusqu'au bief de partage [1].

La troisième section du canal, comprise entre Ham et Noyon, devait être alimentée naturellement par les eaux de la Somme, prises en amont de Ham, à Sommette, et amenées par une rigole navigable à Esmery-Hallon dans le bief de partage qui, ouvert dans des terrains marécageux, devait recevoir naturellement de grandes quantités d'eau. L'alimentation pouvait donc être considérée comme assurée par ces moyens naturels.

1. Ce chiffre de 300.000 francs peut s'établir ainsi :

Un bateau qui franchit le bief de partage consomme deux éclusées, soit 1.800 mètres cubes d'eau, qui peuvent servir, en même temps, s'il y a croisement aux deux écluses extrêmes, à faire passer un bateau en sens inverse. Le chargement maximum des bateaux étant de 300 tonnes, on peut admettre, comme chargement moyen, les trois quarts de ce chiffre, soit 225 tonnes. S'il y avait croisement à chaque écluse, le passage d'une tonne exigerait donc $\frac{1800}{225} = 8$ mètres cubes d'eau. En admettant quatre croisements pour cinq éclusées, ce qui n'a rien d'excessif, eu égard à l'importance présumée du trafic, il faudrait 10 mètres cubes d'eau par tonne, soit pour un trafic annuel de 4 millions de tonnes..... 40.000 000 mc.

Les pertes, évalués ci-dessus, consommant..... 4.000 000

l'alimentation exigerait annuellement..... ..... 44.000.000 mc.

Sur lesquels les sources auraient fourni, à raison de 200 litres pendant trois mois, et de 400 litres pendant le reste de l'année, environ..... ..... 13.000.000 mc.

Reste à élever par machines..... ..... 31.000.000 mc.

La hauteur d'élévation était de 44 mètres du côté de la Sensée et de 33m,20 du côté de la Somme, soit en moyenne 38m,60. Le travail à demander aux machines représentait donc 1.196.600.000 mètres cubes soit 1.200.000 mille mètres cubes élevés à un mètre de hauteur, ou bien, à raison de 0,25 les mille mètres cubes élevés à un mètre, une dépense annuelle de 300 000 francs.

La rigole à ouvrir, depuis l'Oise jusqu'au bief de partage. aurait eu environ 60 kilomètres de longueur, en souterrain sur une grande partie de son parcours. Elle n'aurait pas coûté moins de 150 francs par mètre courant, soit en totalité de 9 à 10 millions de francs, et peut être beaucoup plus.

Toutefois, pour être à l'abri de toute éventualité, on avait supposé que l'emploi de machines élévatoires pourrait être nécessaire pendant la saison sèche, et on avait fait figurer dans le projet la dépense relative à leur installation, sauf à l'ajourner jusqu'à l'époque où elle aurait été réellement reconnue indispensable.

Le prolongement du canal latéral à l'Oise, de Janville à Méry-sur-Oise, s'alimentait naturellement par des eaux prises soit à l'Oise, soit à ses affluents, l'Aronde, la Frette, la Bresche et l'Esche.

Enfin, pour le canal projeté de Méry-sur-Oise à Saint-Denis, l'alimentation ne pouvait être opérée que par des machines. Les sources de la rivière de Montmorency, qui seules pouvaient arriver naturellement dans le bief de partage, n'ont qu'un débit insignifiant. En revanche on peut emprunter, soit à l'Oise, soit à la Seine, sans modifier leur régime, le volume d'eau nécessaire à l'alimentation d'un canal. Les machines élévatoires étaient projetées près de l'Oise, à Vaux, et leur fonctionnement, en supposant les eaux prises à l'Oise, devait coûter environ 150.000 francs par an; mais ce chiffre pouvait être réduit si, au lieu de puiser dans l'Oise, on prenait l'eau dans le bief inférieur du canal projeté, lequel, recevant les éclusées des deux versants qu'il devait réunir, et n'ayant à subvenir à aucune dépense, aurait toujours pu fournir le volume nécessaire à l'alimentation.

Estimation des dépenses. — Le montant total des dépenses à faire, évaluées avec plus d'exactitude que n'en comporte ordinairement un avant-projet, s'élevait à 105 millions de francs, savoir :

Ouverture du canal nouveau	96.650.000 fr.
Amélioration des sections empruntées aux voies existantes	5.100.000
Conduite et surveillance des travaux . . .	3.250.000
Total pareil . .	105.000.000 fr.

La dépense afférente à l'ouverture du canal nouveau mon-

tant à 96.650.000 fr. se répartissait de la manière suivante entre les diverses natures d'ouvrages.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DÉPENSES PARTIELLES fr. c.	DÉPENSES TOTALES fr. c.
Acquisitions de terrains et indemnités.	9.894.869 70	9.894.869 70
Terrassements	29.097.931 95	
Étanchements, perrés, etc.	8.174.376 »	37.272.307 95
Écluses.	14.421.400 »	
Ponts	8.660.100 »	
Ponts canaux.	810.000 »	
Ouvrages secondaires.	873.352 »	24.764 852 »
Souterrain.	7.792.800 »	7.792.800 »
Machines élévatoires.	4.32.4000 »	
Conduites de refoulement	2.126.000 »	
Ouvrages accessoires de l'alimentation.	977.400 »	9.427.400 »
Somme à valoir pour imprévus.		9.497.770 35
Montant total des dépenses.		96.650.000 »

La longueur à construire étant de 186.704 mètres, le chiffre ci-dessus représentait une dépense moyenne de 517.660 fr. par kilomètre[1].

1. La partie nouvelle du canal de Roubaix, construite de 1866 à 1876, a coûté 7.200.000 fr. pour 7.655 mètres de longueur, soit 940.000 fr. par kilomètre. Le canal de Saint-Quentin, ouvert au commencement du siècle, et dont les terrassements ont été exécutés en partie par les prisonniers de guerre, a coûté 265.000 fr. par kilomètre. Le canal de Marans à la Rochelle, pour un mouillage de 1m,60, a donné lieu à une dépense de 13.460.000 fr. pour 24 kilomètres de longueur, soit 560.930 fr. par kilomètre.

Cette même dépense se répartissait, ainsi qu'il suit, entre les diverses sections à ouvrir :

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	DÉPENSES TOTALES	
	par section.	par kilomètre
Courcelles-lès-Lens à Courchelettes . . .	3.300.000 fr.	343.750 f.
Arleux à Péronne.	33.300.000	732.600
Ham à Noyon.	12.250.000	395.000
Janville à Méry-sur-Oise.	21.800.000	287.600
Méry-sur-Oise à Saint-Denis	26.000.000	1.047.100
TOTAL et moyenne. . . .	96 650.000	517.660

La première étude sommaire, présentée le 28 février 1879, s'élevait, comme on a vu, à . . . . . 74.500.000 fr.

Mais elle ne comprenait pas le prolongement du canal latéral à l'Oise, de Janville à Méry, estimé ci-dessus 21.800.000

En ajoutant ce chiffre au précédent, on arrive au total de 96.300.000

Tandis que l'étude complète et détaillée montait à. 96.650.000

Le rapprochement de ces deux chiffres est certainement bien plus grand qu'on ne pouvait l'espérer. Toutefois il montre avec quel soin avait été faite l'étude sommaire, malgré le peu de temps qu'on avait pu y consacrer.

L'estimation ci-dessus était établie dans l'hypothèse d'une section de 17 mètres de largeur en plafond et d'écluses formées de deux sas jumeaux. Pour la rendre comparable à celle des autres projets, et conformément à l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, elle avait été faite également dans l'hypothèse d'une section de 11 mètres de largeur en plafond, avec des écluses jumelles, ou avec des écluses ordinaires. Les dépenses totales s'élevaient :

1° Dans l'hypothèse d'une section de 11 mètres de largeur au plafond avec écluses ordinaires à . . . . . 90.000.000 fr.

2° Dans l'hypothèse d'une section de 11 mètres de largeur au plafond avec écluses jumelles à 98.000.000

au lieu du chiffre total de. 105.000.000

La substitution d'écluses jumelles aux écluses ordinaires représentait une augmentation de dépenses de 8.000.000 et l'adoption de la largeur de 17 mètres au lieu de celle de 11 mètres au plafond, une augmentation de 7.000.000 fr.

La différence totale entre le canal à grande largeur, à écluses doubles, et le canal ordinaire à écluses simples, n'était donc en définitive que de 15.000.000 de francs, soit environ 15 0/0 de la dépense totale.

Il convient de rappeler ici les arguments par lesquels était justifiée cette augmentation de dépenses.

Avantages de la grande largeur. — Tous les industriels et négociants de la région du Nord, qui usent de la voie d'eau et qui n'ont à leur service que des canaux de 10 à 12 mètres de largeur desservant une grande circulation, connaissent les inconvénients de cette faible largeur : la difficulté des croisements et le temps perdu dans ces manœuvres, l'impossibilité pour un bateau de dépasser ceux qui sont devant lui et qui marchent plus lentement, les interruptions de la circulation par suite d'obstacles accidentels, bateaux échoués, menues réparations aux ouvrages, etc.

Ces inconvénients, à peine sensibles sur les canaux moyennement fréquentés, deviennent intolérables sur ceux où la circulation est active. Ils ont pour effet de ralentir et surtout d'irrégulariser outre mesure la vitesse de marche, à tel point, par exemple, que le voyage de Dunkerque à Lille, de 120 kilomètres de longueur, est effectué en des durées variant de huit à trente jours et même davantage, sans qu'on puisse savoir d'avance, en aucune manière, si un bateau partant mettra huit ou trente jours pour être rendu à destination.

C'est là, on le conçoit, une des causes principales de l'élévation du prix du fret.

Cette irrégularité, qui semble tellement passée dans les habitudes de la batellerie qu'elle songe à peine à s'en plaindre, est-elle une conséquence nécessaire des transports par eau et ne pourrait-elle être évitée?

Tous les industriels et négociants qui font usage des canaux, tous les entrepreneurs de transport sont unanimes à ce sujet. Ils considèrent comme possible d'obtenir, pour les bateaux, une marche aussi régulière que celle du roulage. Il suffit, pour cela, qu'un bateau ne soit jamais arrêté, malgré lui, en aucun point de sa route.

Ce résultat sera obtenu si le canal est partout assez large pour qu'aucun encombrement ne s'y produise, c'est-à-dire pour qu'un bateau, accidentellement arrêté ou marchant lentement, ne soit nulle part une entrave pour les autres, aussi bien pour ceux qui, venant derrière lui, devront le dépasser, que pour ceux qui marchent en sens contraire. Si en même temps les écluses sont formées de deux sas jumeaux disposés de manière à ce que l'on puisse faire passer très rapidement tous les bateaux qui s'y présentent, il n'y aura plus aucune cause de retard et, à moins d'accidents tout à fait exceptionnels, il sera toujours possible de connaître à l'avance la durée du voyage d'un bateau ayant à faire un parcours déterminé.

Un autre avantage de la grande largeur, et ce n'est pas le moins important pour l'avenir de la batellerie, c'est de permettre la navigation à vapeur. Il ne s'agit pas ici du touage, sur chaîne noyée, de bateaux réunis en trains. Ce système, qui est le seul économique sur les rivières où il s'agit de remonter un courant rapide et où les écluses sont rares, ne peut s'appliquer utilement sur les canaux à biefs courts. Mais la navigation à vapeur proprement dite, au moyen de propulseurs à hélice, y réussirait au contraire très bien. L'eau immobile oppose aux appareils propulseurs un point d'appui presque aussi fixe que le ferait une chaîne noyée et rend la traction aussi économique que possible. Les bateaux portant leur moteur jouissent d'une grande indépendance de mouvements, partent et s'arrêtent quand ils le veulent, ce qu'ils ne peuvent faire

aussi facilement lorsqu'ils font partie d'un train de touage.

Cependant, la navigation à vapeur n'existe pas sur les canaux du Nord. Cela tient, comme on le sait, à ce que la marche des bateaux à vapeur est ralentie à chaque pas, sur ces voies navigables, aussi bien par les bateaux qui vont en sens contraire, et dont le croisement est difficile, que par ceux qui marchent dans le même sens, mais avec une vitesse plus faible et qu'ils ne peuvent dépasser à cause de l'insuffisance de largeur du lit. Il en serait autrement si la largeur était assez grande pour permettre le passage facile de trois bateaux de front.

On aurait l'espoir de voir se développer la navigation à vapeur dont l'emploi ne peut être économique que par une augmentation de vitesse qui procure une diminution de la durée du parcours et des frais généraux du transport. La batellerie ne serait plus condamnée à se contenter indéfiniment, sans espoir de progrès, de ses procédés actuels.

Enfin, avec un canal large, dont les berges seraient perreyées, dont les écluses seraient jumelles, dont les ponts fixes auraient leurs culées en dehors des chemins de halage et dont les ponts mobiles présenteraient deux passages distincts, les chômages pour réparations seraient inutiles et devraient même, en principe, être absolument supprimés.

Si quelques réparations devenaient nécessaires, on les opérerait à l'abri de bâtardeaux que la grande largeur du canal permettrait d'établir sans y interrompre la circulation ; ou bien si elles étaient de peu d'importance, on les ferait exécuter par des scaphandriers, comme on le fait déjà sur le canal du Centre, où l'on évite ainsi à peu près toutes les interruptions de la navigation.

Les dépenses seraient sans doute un peu plus fortes dans ce système que dans celui des chômages ; toutefois, il faut considérer, d'une part, que, bien souvent, des avaries de peu d'importance d'abord, s'aggravent notablement lorsque l'on attend plusieurs mois avant de les réparer, et qu'il y aurait avantage à y remédier aussitôt qu'elles se produisent, et, d'autre part, que la perturbation apportée dans les relations commerciales par les chômages, même prévus, est assez fâcheuse pour qu'on

doive chercher à l'éviter au prix d'un léger accroissement des dépenses d'entretien.

C'est, bien entendu, une question de mesure, et de pareils procédés ne seraient sans doute pas justifiés sur des canaux à faible fréquentation.

Indépendamment de ces avantages, dont l'importance pour la batellerie est difficile à évaluer en argent, l'élargissement de la section transversale a pour effet de réduire l'effort de traction nécessaire pour faire avancer les bateaux, ou, ce qui revient au même, d'augmenter la vitesse due à un même effort de traction. Il réalise ainsi une économie dont profiterait directement l'industrie des transports et qui n'est pas inférieure à 0 fr. 0008 par tonne et par kilomètre [1], soit 0 fr. 20 par tonne, pour le parcours de 250 kilomètres, du Nord à Paris. Appliquée au trafic annuel de 4 millions de tonnes, l'économie serait de 800.000 francs, alors que la dépense supplémentaire exigée par l'augmentation de largeur ne serait que de 7.000.000 de

1. Voici comment on peut établir ce chiffre.

D'après les expériences de du Buat, si l'on désigne par b la section transversale d'un bateau et par c celle du canal où il circule, l'effort E, nécessaire pour produire une vitesse V pourra être représenté par

$$E = K \frac{b^2}{c + 2b} V^2.$$

K étant un coefficient qui dépend de la forme du bateau.

Si le bateau a 5 mètres de largeur et $1^m,80$ d'enfoncement, on a $b = 9$ mètr.

Comparons deux canaux dont les sections transversales ayant toutes deux des talus réglés à 3 de base pour 2 de hauteur et 2 mètres de profondeur d'eau, mais dont la première aurait 11 mètres, la seconde 17 mètres, de largeur au plafond. Les efforts de traction E et E′ à exercer sur un même bateau pour lui donner une même vitesse V, dans les canaux, seront entre eux dans le rapport.

$$\frac{E}{E'} = \frac{c' + 2b}{c + 2b} = \frac{40 + 18}{28 + 18} = 1.26 = \text{à peu près } \frac{5}{4}.$$

En admettant que le prix de traction soit proportionnel à l'effort exercé, s'il était de 0 fr. 004 par tonne kilométrique sur le canal de 11 mètres de largeur, il ne sera, sur celui de 17 mètres, que de 0 fr. 004 $\times \frac{4}{5} =$ 0 fr. 0032.

L'élargissement réaliserait donc une économie de 0,0008 par tonne kilométrique.

Mais, en général, les choses ne se passeront pas ainsi.

Si le bateau est traîné par des chevaux, ceux-ci exerceront un effort qui sera toujours, en moyenne, à peu près le même; seulement, sous l'action de ce

francs ; elle dépasserait donc 11 0/0 de ce capital, et elle aurait suffi à justifier la dépense de l'élargissement, alors même que le trafic n'aurait dû être que de 1.400.000 tonnes par an, l'intérêt étant calculé à 4 0/0, amortissement compris.

Les écluses à deux sas jumeaux coûtent environ 65 0/0 de plus que les écluses à un seul sas, mais elles présentent l'avantage de doubler la puissance de la voie navigable, d'éviter tout chômage pour remplacement ou réparation des portes et de faciliter l'évacuation rapide des bateaux accumulés à la suite d'une interruption momentanée de la circulation. Les facilités données ainsi au commerce par des écluses doubles

même effort, le bateau prendra dans le canal large une vitesse V′ plus grande que celle qu'il aurait acquise dans le canal de 11 mètres, et le rapport des vitesses sera

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{c'+2b}{c+2b}} = \sqrt{1.26} = \text{à peu près } \frac{9}{8}.$$

La durée du trajet sera ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, diminuée dans le rapport de 8 à 9.

Le prix de la traction sera diminué dans la même proportion, car il est, pour un même effort, proportionnel à la durée du trajet, il en sera de même des frais généraux, amortissement du bateau, salaire des mariniers, etc., qui représentent une dépense à peu près égale à celle de la traction, soit à peu près 0 fr. 004 par tonne kilométrique. L'économie résultant de l'augmentation de la vitesse sera donc $(0{,}004 + 0{,}004) \times \frac{1}{9} =$ environ 0 fr. 0009 par tonne kilométrique, chiffre sensiblement égal à celui de 0 fr. 0008 trouvé plus haut.

Les mêmes expériences de du Buat montrent que la résistance opposée au mouvement d'un bateau atteint son minimum lorsque la section transversale du canal est de six fois et demie, et la largeur, à la surface de l'eau, quatre fois et demie celle du bateau. Au delà, l'agrandissement de section ne diminue plus la résistance.

Pour des bateaux de 9 mètres de section mouillée et de 5 mètres de largeur, la section donnant la résistance minimum devrait avoir $5 \times 4.5 = 22^{m},50$, soit 23 mètres de la largeur à la ligne d'eau et $9 \times 6{,}5 = 58^{m},50$ soit 60 mètres de superficie. Le profil transversal qui donnerait ces dimensions aurait 17 mètres de largeur au plafond, 3 mètres de profondeur, et des talus inclinés à 45 degrés.

Si l'on compare un canal dont le profil serait ainsi réglé, avec un autre dont la section serait celle des canaux ordinaires, soit 11 mètres de largeur au plafond et 2 mètres de profondeur, on trouve que les efforts nécessaires pour donner à un même bateau une même vitesse dans les deux canaux sont entre eux dans le rapport de 3 à 5 ; et si l'on admet la proportionnalité du prix de traction à l'effort nécessaire pour produire une vitesse donnée, lequel est, par exemple, de 0 fr. 004 sur le canal ordinaire, ce prix s'abaisserait sur le premier canal à 0 fr. 0024. L'élargissement et l'approfondissement produiraient donc une économie de 0 fr. 0016 par tonne kilométrique.

sont assez grandes pour motiver leur adoption, malgré le supplément de dépenses qu'elles occasionnent.

Dépenses annuelles. — En outre des dépenses de construction, le projet faisait connaître les dépenses annuelles qu'exigerait l'exploitation et l'entretien du canal.

Celles de l'entretien étaient résumées ainsi :

Entretien du lit, des berges et des chemins de halage : 186.704 mètres à 1 franc	186.704 fr.
Entretien de 179 ponts à 200 francs l'un . . .	35.800
Entretien de 46 écluses à 1.500 francs l'une. .	69.000
Divers et imprévus	8.496
Total des dépenses d'entretien.	300.000 fr.

Celles de l'exploitation comprenaient d'abord le salaire des agents :

92 éclusiers à 750 francs.	69.000 fr.
10 pontiers à 600 francs	6.000
12 gardes à 1.000 francs.	12.000
Divers.	3.000
Total pour les salaires.	90.000
à quoi il fallait ajouter les dépenses d'alimentation estimées à.	510.000
ce qui donnait, pour l'exploitation, un total de .	600.000
en y ajoutant les dépenses d'entretien	300. 000
on arrivait au chiffre de	900.000 fr.

pour l'ensemble des dépenses annuelles.

D'un autre côté, la dépense totale de construction, évaluée à 105 millions de francs, représentait, pour le Trésor public, en supposant qu'il eût dû se procurer les fonds nécessaires au moyen d'un emprunt, ou d'une émission de rentes, une charge annuelle de . . . . . 4.200.000 fr.

si le taux de l'intérêt, amortissement compris, était de 4 0/0, chiffre qui n'aurait sans doute pas été atteint, eu égard aux conditions actuelles du crédit de l'État.

En ajoutant la dépense annuelle évaluée à. .	900.000
on arrivait au total de.	5.100.000 fr.

pour la charge annuelle imposée au Trésor, par la construction et l'exploitation du canal projeté.

Prix du fret. — Ce qui mesurait l'utilité du canal projeté, c'était surtout l'économie qu'il devait procurer dans les transports ; aussi l'évaluation du prix du fret, après son achèvement, avait-elle été faite avec un soin tout particulier.

Voici comment cette évaluation peut être résumée :

Le prix moyen du fret, pour une tonne de houille transportée de Lens à Paris, pendant les quatre années 1876, 77, 78 et 79, avait été de 6 fr. 18, sur lesquels les droits de navigation, qui n'ont été supprimés qu'en janvier 1880, représentaient 1 fr. 39. Le batelier ne recevait donc, en définitive, que 4 fr. 79 pour transporter une tonne de houille de Lens à Paris à une distance de 344 kilomètres, soit 0 fr. 01392 par tonne et par kilomètre.

Les frais de traction des bateaux, qui constituaient également une dépense obligatoire, s'élevaient à 2 fr. 20 en moyenne par tonne à l'aller, et au tiers de cette somme, soit à 0 fr. 73 pour le retour à vide. Lorsque le batelier revenait à vide, il devait ainsi payer aux entrepreneurs de halage ou de touage, une somme de $\frac{2.20 + 0.73}{344} = 0$ fr. 00852 par tonne et par kilomètre ; il ne lui restait donc, pour tous les autres frais non évalués, c'est-à-dire pour les frais d'entretien, d'amortissement, de patente, d'assurance, pour le salaire des mariniers et pour son bénéfice qu'une somme de $0.01392 - 0.00852 = 0$ fr. 0054 par tonne et par kilomètre.

Les frais de traction ne sont aussi élevés qu'en raison des obstacles que présente la ligne actuelle à la circulation facile des bateaux. On était fondé à admettre que sur le nouveau canal, à large section, à courbes de grand rayon, où le croisement des bateaux s'opérerait sans difficulté, tant à cause de la largeur de la section qu'à cause de l'existence de deux chemins de halage continus, où l'on ne rencontrerait pas de ponts trop étroits rendant le halage difficile, le prix de traction ne dépasserait pas le chiffre auquel il était déjà réduit sur certaines parties du canal actuel. Or, ce prix était de 0 fr. 00341

en moyenne de Jussy à Chauny, dans une partie du canal de Saint-Quentin, où les conditions sont moins favorables qu'elles ne l'auraient été sur la nouvelle ligne à créer. En prenant ce chiffre pour le prix moyen de la traction à charge sur le canal projeté et en l'augmentant d'un tiers pour le retour à vide, la dépense de la traction, pour un batelier revenant à vide, aurait été de 0 fr. 00341 $+ \frac{0 \text{ fr. } 00341}{3} = 0 \text{ fr. } 00455$ par tonne et par kilomètre, et cette dépense ajoutée à celle de 0 fr. 0054 qui, à cette époque servait à couvrir les autres frais non évalués et le bénéfice du batelier, donnait un total de 0 fr. 00995 pour le prix probable du fret par tonne et par kilomètre.

Dans ces conditions, le transport d'une tonne de houille de Lens à Paris, par le nouveau canal, serait revenu, pour une distance de 247 kilomètres, à 2 fr. 45 par tonne.

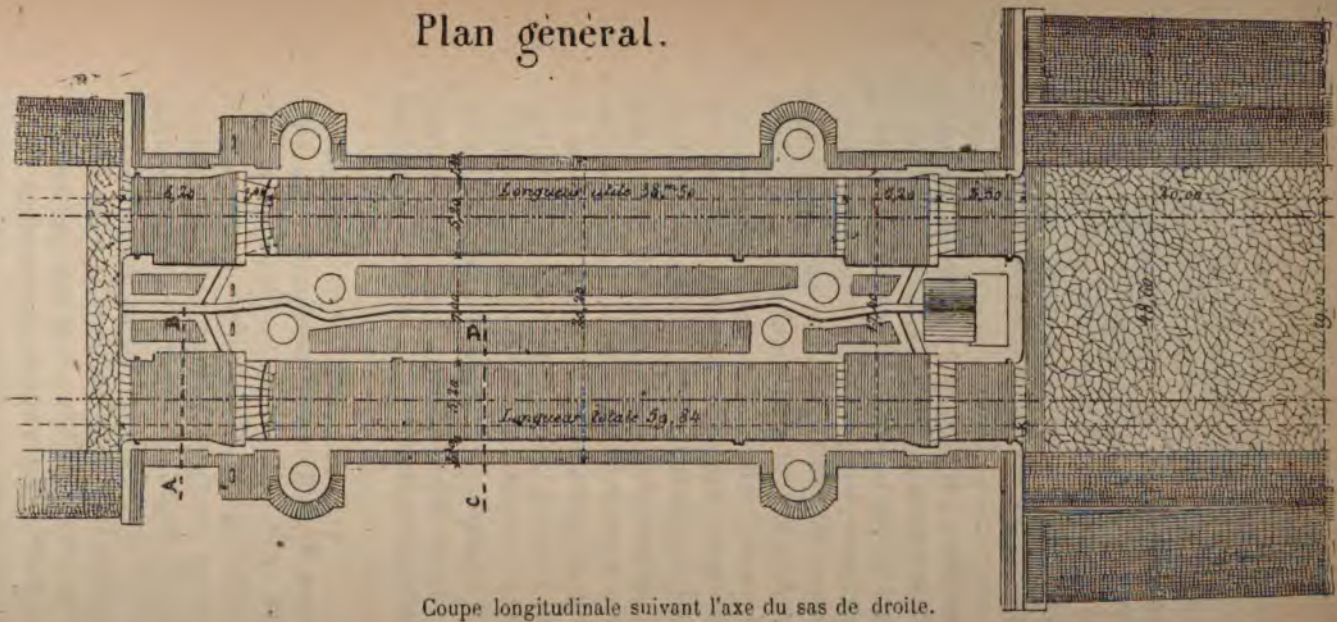
Ce calcul ne tenait pas compte de l'accroissement probable de vitesse qui aurait pu être réalisé sur le canal projeté, tant par suite de la plus grande facilité de la traction, que par suite de la suppression des encombrements et des chômages accidentels. Cette augmentation de vitesse, qui se serait traduite par un accroissement du parcours kilométrique annuel de chaque bateau, aurait eu pour conséquence une diminution correspondante dans le chiffre de 0 fr. 0054 représentant les frais généraux. En considérant que les crues de l'Oise avaient pour effet d'interrompre la navigation pendant un mois, en moyenne, par année, et que le prolongement du canal latéral à l'Oise aurait supprimé cette cause de chômage, on trouvait déjà, pour ce seul motif, une augmentation de près d'un dixième dans le parcours annuel possible. Les autres causes énumérées plus haut pouvaient autoriser à élever ce chiffre jusqu'à un cinquième environ; alors, le chiffre de 0 fr. 0054 se réduisait à 0 fr. 00432, et le prix du fret s'abaissait à moins de 0 fr. 009 par tonne et par kilomètre, c'est-à-dire que le transport d'une tonne de houille de Lens à Paris (247 kilom.) ou de Denain à Paris (241 kilom.) par le canal projeté, aurait pu être effectué à un prix inférieur à 2 fr. 20. Pour être à l'abri de tout mécompte on avait admis, pour le prix moyen du fret probable le chiffre de 2 fr. 40, soit environ 0 fr. 01 par tonne et par kilomètre, et

dans cette hypothèse, l'économie réalisée sur les prix moyens des quatre années précédentes était de 2 fr. 39 pour chaque tonne venant du bassin du Pas-de-Calais, et de 1 fr. 94 pour chaque tonne venant du Nord. L'économie moyenne, était donc de 2 fr. 16 par tonne en supposant que les deux bassins eussent expédié des quantités égales. Or, elle devait être plus forte, puisque le bassin du Pas-de-Calais aurait fourni probablement le contingent le plus élevé dans le trafic total.

Économie annuelle. — L'économie de 2 fr. 16, appliquée aux quatre millions de tonnes du trafic probable, représentait, pour le commerce et l'industrie, un bénéfice annuel d'au moins 8,640,000 fr. bien supérieur aux charges qui auraient été assumées par le Trésor. Elle était calculée en comparant la ligne projetée à la voie existante, en supposant, par conséquent, que les quatre millions de tonnes représentant l'accroissement probable du trafic seraient transportées par la voie projetée, au lieu de l'être par la ligne actuelle; or ce mode de calcul ne correspondait pas avec la réalité, puisque cette ligne était arrivée à la limite de sa fréquentation; la comparaison aurait dû être faite en mettant en regard les dépenses de transport par la voie projetée, 2 fr. 40 par tonne et celles que le commerce aurait eu à payer réellement si on ne l'exécutait pas, c'est-à-dire les dépenses de transport par chemin de fer, soit 7 fr. 40 par tonne. Dans cette hypothèse, plus exacte, l'économie annuelle, réalisée par le commerce, atteignait vingt millions de francs.

Ordre d'exécution des diverses sections. — Chacune des sections du canal avait d'ailleurs son utilité propre et pouvait être exécutée isolément, en rendant des services en rapport avec la dépense qu'elle aurait occasionnée, avant l'achèvement des autres. Celle dont l'ouverture devait être entamée la première était évidemment celle d'Arleux à Péronne, qui offrait au bassin houiller du Pas-de-Calais le nouveau débouché qui lui manquait; c'était d'ailleurs celle qui présentait le plus de difficultés d'exécution. On aurait pu, en même temps ouvrir, en une seule campagne, la petite section de Courcelles-

Plan général.



Coupe longitudinale suivant l'axe du sas de droite.

lès-Lens à Courchelettes, pour éviter la traversée de la ville de Douai. Les autres sections, de Ham à Noyon, de Janville à Méry-sur-Oise et à Saint-Denis, destinées simplement à réaliser des améliorations utiles que l'industrie pouvait attendre plus ou moins patiemment, mais dont le retard, quoique préjudiciable, n'entravait pas son développement, auraient pu être exécutées plus tard, au fur et à mesure des besoins ou des ressources budgétaires.

Tel était, dans ses lignes principales, l'avant-projet présenté à l'administration, le 27 février 1880.

Avant de rappeler les décisions dont il a été l'objet, il convient, pour réunir dans un même chapitre toute la partie technique de cet exposé, de décrire sommairement les études qui avaient été poursuivies, après la présentation de cet avant-projet et pendant que l'on remplissait les formalités administratives, afin d'être prêt à entamer les travaux aussitôt après le vote de la loi déclarative d'utilité publique.

Ces études comprenaient des projets définitifs de tracé et de terrassements, destinés à être mis en adjudication, et sur lesquels il n'y a pas lieu de s'arrêter, un cahier des charges général, qui n'est guère qu'une compilation des documents semblables applicables à d'autres entreprises, et enfin un type d'écluse qui, au contraire, présentait quelques dispositions nouvelles sur lesquelles il semble utile d'appeler l'attention. Ce type d'écluse a été présenté le 15 décembre 1882 à l'administration, qui n'a pas statué.

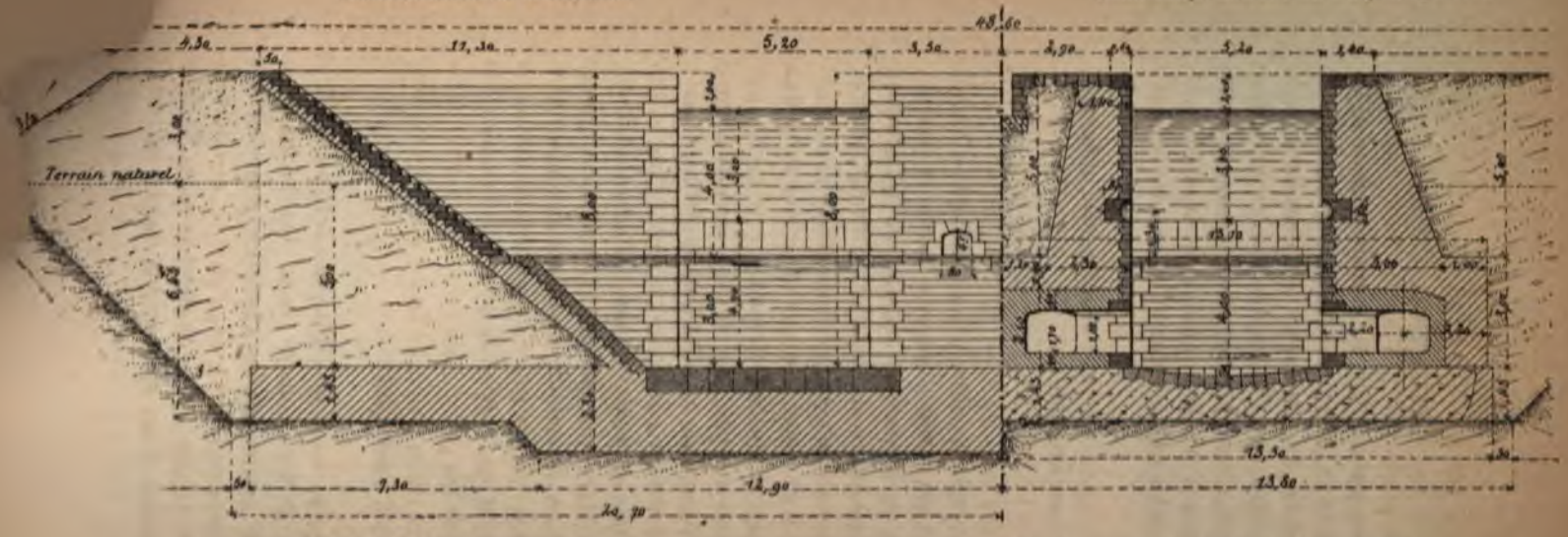
TYPE D'ÉCLUSE

D'après les nécessités du trafic qu'elles étaient appelées à desservir, les écluses du nouveau canal devaient être disposées de manière à faciliter le passage des bateaux et à le rendre aussi rapide que possible.

C'est dans ce but que les écluses étaient composées de deux sas jumeaux. On a déjà dit que les dimensions de chacun de ces sas étaient celles qui avaient été fixées par la loi du 5 août

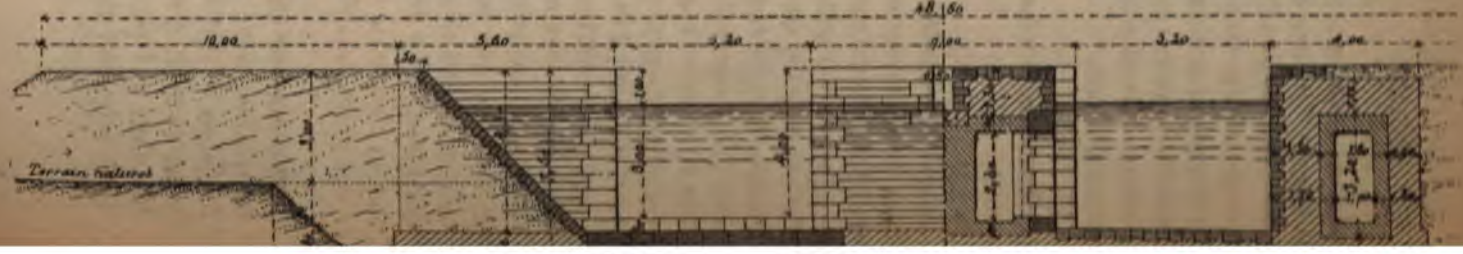
Demi-élévation de la tête aval.

Demi-coupe suivant CD du plan général.



Demi-élévation de la tête amont.

Demi-coupe suivant AB du plan général.

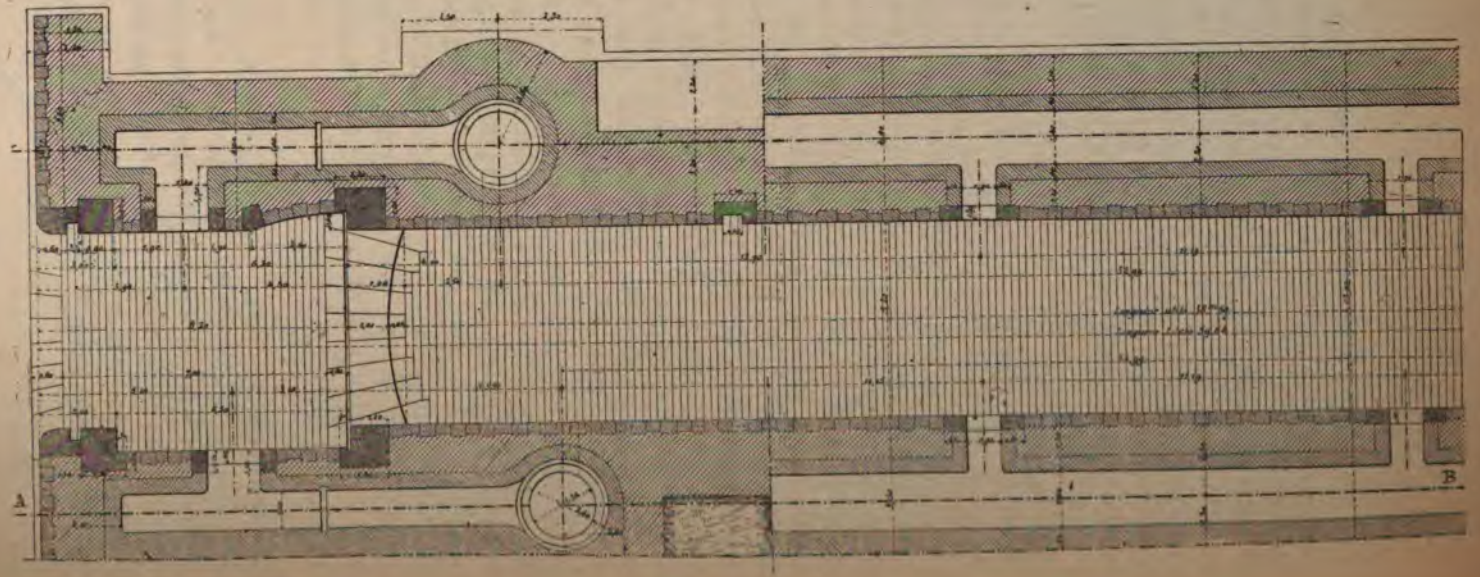


1879, savoir 5m,20 de largeur et 38m,50 de longueur utile. Le bajoyer commun, présentant un terre-plein de 7 mètres de largeur, était placé dans l'axe du canal dont la largeur au plafond était portée à 19 mètres au lieu de 17, et la profondeur à 3 mètres, pour se raccorder avec les buscs. Les différences de largeur et de profondeur, tant à l'amont qu'à l'aval, étaient rachetées sur des longueurs de 20 mètres, dans lesquelles le plafond était en pente et les talus réglés suivant des inclinaisons variables.

Hauteur de chute. — La hauteur de chute avait été, comme on l'a vu, fixée à 4 mètres en moyenne. Si l'on n'avait eu à tenir compte que des facilités à donner à la batellerie, on n'aurait pas hésité à adopter un chiffre plus élevé et l'on aurait sans doute proposé 5 et peut être 6 mètres; car il est évident que l'augmentation de la chute des écluses en diminue le nombre, et par suite les retards qu'entraîne leur multiplicité. Cet avantage n'est obtenu, en général, que moyennant une dépense supplémentaire de terrassements, laquelle se trouve plus que compensée, par l'économie qui résulte de la diminution du nombre des écluses, et M. l'inspecteur général Comoy a montré (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1849, 1er semestre) que l'adoption d'une chute de 4 mètres diminuait d'au moins vingt pour cent les dépenses qu'entraînerait l'adoption d'une chute moitié moindre. Mais l'augmentation de la chute a pour conséquence une augmentation de la dépense d'eau nécessaire au passage des bateaux, et comme l'alimentation du canal était assurée uniquement par des eaux élevées au moyen de machines, on a dû tenir un grand compte de cette considération et c'est surtout elle qui a empêché de proposer l'adoption d'une chute supérieure à 4 mètres.

Profondeur des sas. — Les anciennes écluses étaient construites avec 5m,20 de largeur pour les bateaux de 5 mètres, et avec 2 mètres de profondeur pour les bateaux de 1m,80 d'enfoncement. Un bateau chargé, qui doit entrer dans une pareille écluse ou en sortir, ne peut le faire qu'en refoulant un volume d'eau égal au sien, lequel ne trouve

Plan coupé suivant la ligne EFGH de la page 474.



pour s'écouler que l'espace très restreint laissé sur son pourtour. Sur certains canaux et en particulier sur le canal de Saint-Quentin, on a essayé de remédier à cet inconvénient en construisant, parallèlement au sas, un aqueduc dit *d'échappement*, par lequel peut s'écouler l'eau qui doit passer de l'avant à l'arrière du bateau. Mais l'expérience a montré que ces aqueducs ne diminuent pas, autant qu'il le faudrait, les difficultés d'entrée et de sortie des bateaux chargés, ainsi que les pertes de temps qui en résultent. C'est une amélioration qui peut être réservée aux écluses existantes, mais il fallait trouver mieux pour les écluses nouvelles.

La seule disposition vraiment efficace consiste à donner à l'écluse une section transversale plus grande que celle du bateau qui doit y pénétrer. L'eau peut alors s'échapper par son pourtour sans difficulté et sans avoir à prendre une grande vitesse. Si l'augmentation de section est obtenue par un élargissement du sas, on augmente le volume de l'éclusée, la dépense d'eau et le temps nécessaire au remplissage et à la vidange. Mais cet agrandissement de la section transversale peut résulter simplement d'un approfondissement et alors, le volume de l'éclusée, la dépense d'eau et la durée du remplissage restent absolument les mêmes que pour une écluse ordinaire.

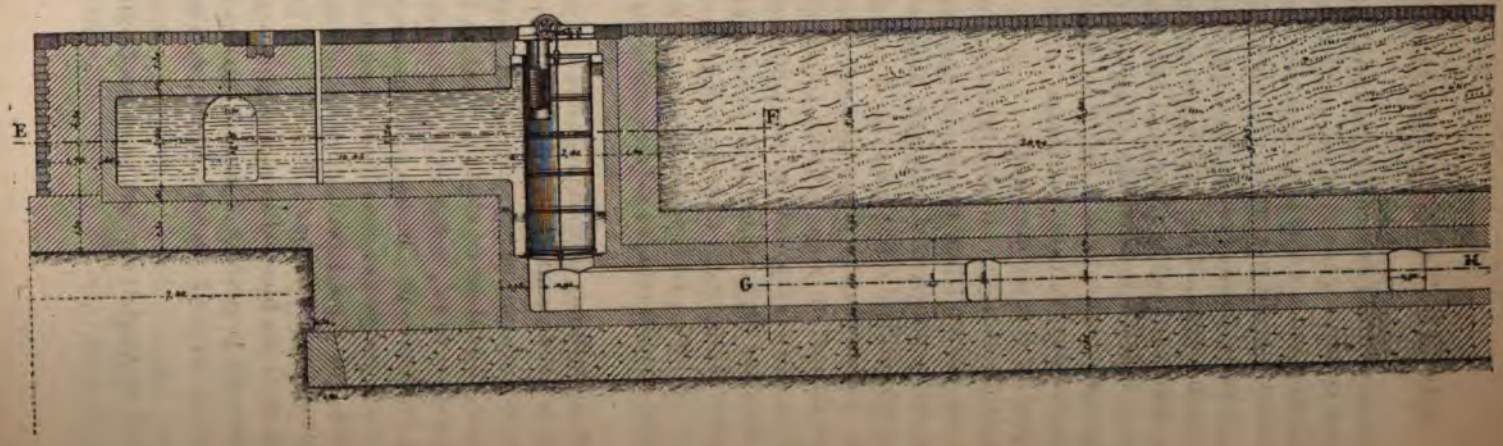
Ces considérations, développées dans le rapport à l'appui de l'avant-projet du canal du Nord, ont attiré l'attention de plusieurs Ingénieurs de navigation et en particulier celle de M. Fontaine, ingénieur en chef du canal du Centre, qui a fait procéder sur ce canal, à des expériences ayant pour but de comparer les durées de l'éclusage, dans les écluses dont les radiers sont à des profondeurs variables au-dessous du fond des bateaux qui y pénètrent, et ces expériences ont pleinement confirmé les prévisions[1].

Les radiers et les buscs d'aval des écluses du canal du Nord avaient donc été projetés à 3 mètres au-dessous du niveau réglementaire des eaux du bief d'aval; et l'augmentation de

1. Il a été rendu compte de ces expériences dans les *Annales des ponts et chaussées* : année 1881, 2e semestre.

APPAREILS DE REMPLISSAGE

Coupe suivant AB du plan de la page 472.



Échelle de 0m,005 pour un mètre.

dépense qui résultait de cette disposition ne dépassait guère le quarantième du prix d'une écluse construite dans les conditions ordinaires.

Appareils de remplissage. — Le remplissage et la vidange des écluses se font, en général, au moyen de ventelles placées dans les portes, et dans les conditions ordinaires, il ne faut pas moins de cinq minutes pour remplir ou vider le sas d'une écluse à forte chute. Avec de larges ventelles, le temps théorique pourrait être moindre, mais beaucoup de circonstances s'opposent alors à ce que la manœuvre soit aussi prompte. Si le busc amont est au-dessus du niveau d'aval, l'ouverture trop rapide des ventelles peut entraîner des projections d'eau sur les bateaux et quand, par un abaissement suffisant du busc, cet inconvénient est évité, la masse d'eau qui pénètre dans le sas n'en est pas moins animée d'une forte vitesse longitudinale, qui fait osciller le bateau en le projetant alternativement sur les portes d'aval et sur celles d'amont, et dont les effets ne peuvent être entièrement atténués par l'amarrage des bateaux. Il est donc impossible d'ouvrir, au début, les ventelles à toute hauteur, on ne peut les manœuvrer que progressivement et l'on perd ainsi, en grande partie, les avantages de leurs dimensions.

Les aqueducs établis dans le mur de chute, ou dans les têtes des écluses, ne donnent pas de résultats bien meilleurs ; ils produisent toujours un afflux d'eau en un seul point et par suite, des courants longitudinaux et des mouvements tumultueux qui s'opposent à une manœuvre rapide.

Au contraire, les aqueducs latéraux régnant sur toute la longueur de l'écluse, et qui distribuent l'eau dans le sas au moyen d'un certain nombre d'orifices placés dans chaque bajoyer, ne présentent pas ces inconvénients. Les courants longitudinaux se produisent alors dans les aqueducs, c'est-à-dire en dehors du sas ; le remplissage s'effectue sans agitation tumultueuse et sans oscillation. Des aqueducs disposés suivant ce système fonctionnent sur un certain nombre d'écluses et en particulier en Angleterre, aux nouvelles écluses de la Weaver. On peut constater que les mouvements d'ascension et de des-

cente s'y font sans secousse, et sans que les bateaux aient aucune tendance à des mouvements longitudinaux. Ils n'éprouvent que des mouvements verticaux et, malgré la rapidité du remplissage qui s'effectue en moins de deux minutes, il est à peine nécessaire de les amarrer dans le sas.

Chacun des sas des écluses du canal du Nord devait donc être muni de deux aqueducs longitudinaux, communiquant, à leurs extrémités, avec les biefs d'amont et d'aval, et, sur leur longueur, avec le sas, au moyen de quatre orifices transversaux de chaque côté. Ces aqueducs devaient avoir chacun $1^m,40$ de largeur et $1^m,10$ de hauteur, et les orifices, $0^m,90$ de largeur avec la même hauteur de $1^m,10$. Comme les bateaux chargés à $1^m,80$ d'enfoncement devaient laisser sur le radier, supposé établi à 3 mètres de profondeur, une couche d'eau de $1^m,20$ d'épaisseur au-dessous d'eux, on voit que les orifices des aqueducs auraient été placés entièrement au-dessous des bateaux qui n'auraient eu à éprouver ainsi aucun choc de la part de l'eau.

L'augmentation de la profondeur du sas présentait encore un avantage indirect, pour la facilité du remplissage. La masse liquide restant au-dessous du bateau aurait eu pour effet d'amortir l'agitation provenant de l'arrivée dans le sas des eaux d'amont, et aurait permis de les y introduire avec une vitesse beaucoup plus grande que lorsqu'il ne reste, sous le bateau, qu'une couche d'eau d'une faible épaisseur.

Pour ouvrir et fermer les aqueducs, on avait projeté des vannes cylindriques, dont un essai a été fait à l'écluse de l'Aubois, et qui fonctionnent de la manière la plus satisfaisante aux écluses de la Weaver. Ces vannes se composent d'un tube en tôle s'élevant au-dessus de l'eau du bief d'amont et reposant à sa partie inférieure sur un orifice circulaire communiquant avec l'aval. Ce tube est guidé, dans son mouvement vertical, par une tige centrale traversant un collier fixe. Il est d'ailleurs équilibré par un contre-poids, de manière à ne conserver que l'excès de poids nécessaire pour assurer un contact hermétique, et suffisant pour le ramener au bas de sa course quand il est abandonné à lui-même. L'eau d'amont arrive, par un large aqueduc, dans le puits au milieu duquel se meut le

tube et l'entoure de toutes parts. Elle se précipite vers le bief d'aval lorsque l'on soulève le tube, en démasquant ainsi presque instantanément et sans effort un orifice annulaire d'une superficie considérable. Dans le projet présenté pour le canal du Nord, le diamètre du tube était de $1^{m},70$ et la levée de $0^{m},40$. La surface d'écoulement atteignait ainsi $2^{mq},40$ par chaque ventelle.

Dans ces conditions, la durée théorique du remplissage de l'écluse était de 1 minute 22 secondes et l'on pouvait espérer qu'elle n'aurait pas, en réalité, dépassé deux minutes, ce qui est à peu près la durée ordinaire de la manœuvre aux écluses de la Weaver, sans qu'il en résulte aucun inconvénient pour les bateaux.

Portes. — Ordinairement, sur les canaux, la fermeture des écluses se fait au moyen de portes busquées. Depuis quelque temps, néanmoins, on a commencé à employer, en Amérique, des portes à un seul vantail, et ce système semble prévaloir aussi, en France, pour les écluses de ports de mer.

Il présente, en effet, sur celui des portes busquées, de nombreux avantages savoir : la rapidité des manœuvres, la facilité de l'ajustage et des réparations, la diminution des pertes d'eau, la suppression des efforts de torsion dans la porte et des réactions obliques sur les bajoyers.

Rapidité des manœuvres. — Avec un vantail unique, pour ouvrir ou fermer le sas, une seule manœuvre suffit au lieu de deux. Fût-elle un peu plus longue que celle de l'un des deux vantaux d'une porte busquée, elle sera toujours plus prompte que celle qui consiste à manœuvrer successivement les deux vantaux, en passant d'un bajoyer sur l'autre, ce qui oblige souvent l'éclusier à faire le tour de l'écluse. Presque toujours, à la vérité, il se fait aider par les mariniers, mais c'est là une pratique fâcheuse et il est préférable de le laisser seul chargé des manœuvres afin qu'il en conserve la responsabilité.

Facilités de l'ajustage et des réparations. — Un des inconvénients des portes busquées est la nécessité d'une très grande précision dans leur ajustage, pour qu'elles s'appuient exactement contre le busc en portant complètement l'une sur l'autre.

Si elles sont un peu trop longues, elles ne portent pas sur le busc et se fatiguent ; si elles sont un peu trop courtes, elles s'appuient sur le busc en laissant entre elles un vide, et pour s'appuyer l'une sur l'autre vers le haut, elles doivent se gauchir, au grand préjudice de leurs assemblages.

La porte à un seul vantail ne présente pas ces inconvénients : qu'elle soit un peu plus ou un peu moins longue, elle portera toujours sur les feuillures destinées à la recevoir, et il suffit pour assurer son contact avec le busc, que les faces de l'entretoise inférieure et des poteaux montants se trouvent dans un même plan. Cette unique condition, à laquelle doivent d'ailleurs satisfaire aussi les portes busquées, est facile à remplir.

Les remplacements des portes à un seul vantail sont des plus faciles. Toutes les écluses d'un même versant ayant la même chute, toutes leurs portes d'aval auront la même hauteur, et il en sera de même de toutes leurs portes d'amont. Il suffira d'avoir, en magasin, une porte de chaque espèce pour remplacer immédiatement celle qui aurait subi une avarie. Cela ne peut se faire avec la même facilité lorsque les portes sont busquées. Les écluses présentent toujours de petites inégalités dans leur largeur, dans la saillie du busc, dans le tracé des chardonnets, et les portes busquées doivent être construites avec une précision telle qu'il est nécessaire de les établir rigoureusement suivant le gabarit spécial de chaque écluse.

Diminution des pertes d'eau. — Les pertes d'eau auxquelles donnent lieu les portes busquées proviennent principalement du défaut de précision dans l'ajustage, qui a pour conséquence une butée imparfaite des deux vantaux l'un sur l'autre ou contre le busc. Cette cause est entièrement supprimée avec les portes à un seul vantail.

Suppression des efforts de torsion. — Ces efforts, qui sont surtout le résultat du gauchissement produit par un ajustage imparfait des portes busquées, disparaissent naturellement dans les portes à un seul vantail. Ces dernières ne sont pas soumises non plus aux réactions horizontales provenant de la butée d'un vantail sur l'autre, qui, dans les portes en bois, sont détruites par la rigidité du poteau tourillon, et contre lesquelles, dans certaines portes en fer, on a armé ce poteau

de disques s'appuyant sur le chardonnet. Les conditions de résistance des portes à un seul vantail sont infiniment plus simples.

Suppression des réactions obliques. — La butée des portes busquées transmet aux bajoyers une réaction oblique, qui n'est contrebalancée que par la résistance des maçonneries ou par la poussée des terres que supportent les bajoyers. Lorqu'il s'agit d'écluses formées de deux sas jumeaux, ces efforts, qui tendent à écarter l'un de l'autre les bajoyers d'un même sas, agissent sur le bajoyer commun, tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre et nécessitent, pour lui, des garanties de stabilité très grandes. Cet inconvénient n'existe pas avec les portes à un seul vantail, qui ne transmettent aux maçonneries que des efforts parallèles à l'axe longitudinal de l'écluse.

Le seul inconvénient des portes à un seul vantail, c'est d'exiger, pour les enclaves, une longueur plus grande que les portes busquées et par suite d'augmenter la longueur de l'écluse. L'accroissement de dépenses qui en résulte est compensé par les économies qui peuvent être réalisées dans la construction, les réparations et le renouvellement des portes, dont la durée doit être notablement augmentée.

C'est pour ces motifs que le projet soumis à l'administration comportait des portes à un seul vantail.

Ces portes étaient prévues en tôle avec des entretoises également espacées à la partie inférieure, plus écartées vers le haut et composées, ainsi que les deux poteaux montants, d'une âme en tôle, de quatre cornières et de deux semelles sur l'une desquelles était rivé le bordage de 6 millimètres d'épaisseur. Des fourrures en bois, appliquées sur les faces d'aval de l'entretoise inférieure et des poteaux montants, assuraient le contact hermétique de la porte avec les maçonneries.

Manœuvre des portes. — La principale innovation apportée au type d'écluse étudié pour le canal du Nord, consistait dans l'emploi de la force mécanique pour manœuvrer les portes et les vannes. L'effort nécessaire pour cette manœuvre, avait été, jusqu'à présent, dans toutes les écluses de navigation intérieure, en France, demandé à la seule force musculaire des

éclusiers ou de leurs aides. Cette solution, la plus simple, est suffisante tant que les écluses ne sont pas très fréquentées, elle ne l'est plus lorsque la circulation devient considérable, et déjà, à certaines écluses de grandes dimensions, construites sur certaines rivières navigables, par exemple à l'écluse de Bougival, sur la Seine, on a remplacé la manœuvre à la main par des appareils mécaniques.

La substitution de la force mécanique à la force musculaire de l'homme ou des animaux est d'ailleurs un fait qui se développe tous les jours à juste raison, et il avait paru utile de chercher, pour les écluses de dimensions ordinaires, un appareil qui permît de la réaliser facilement. Cela était d'autant plus justifié, que l'on dispose, à chaque écluse, d'une chute d'eau et par conséquent d'une force hydraulique que l'on dépense en pure perte, lorsque l'on fait passer l'eau du bief d'amont au bief d'aval. Il suffisait d'utiliser une partie de cette force.

On pouvait y arriver simplement au moyen de roues hydrauliques ou de turbines, mises en mouvement par l'eau d'amont, en imitant la disposition employée aux écluses de la Weaver, où une série de petites turbines spéciales mettent en mouvement les portes qu'elles actionnent directement ; mais l'on pouvait le faire aussi, d'une manière plus simple, en faisant usage d'eau comprimée, ce qui permettait de manœuvrer aussi mécaniquement les vannes, lesquelles n'exigent qu'un effort beaucoup trop faible pour qu'on puisse songer à le demander à une turbine spéciale.

L'appareil servant à comprimer l'eau se composait d'un piston plongeur portant à sa partie supérieure une bâche, dans laquelle arrivait naturellement l'eau du bief d'amont lorsque le piston était à la partie supérieure de sa course, et qui se vidait dans le bief d'aval, lorsqu'il était arrivé à la partie inférieure. La bâche contenant 4.500 litres d'eau, et le piston ayant un diamètre de $0^m,19$, l'eau dans laquelle il plongeait se trouvait comprimée par un effort de 15 kil. 93 par centimètre carré et pouvait transmettre cet effort aux diverses parties du mécanisme à mettre en mouvement, au moyen de tuyaux qui la conduisaient dans les appareils spéciaux de manœuvre, et

l'écoulement de 6 centimètres cubes de cette eau produit par le déplacement d'une paroi mobile, pouvait fournir théoriquement un travail d'un kilogrammètre. Le piston arrivé au bas de sa course, et la bâche vidée dans le bief d'aval, étaient remontés à leur position primitive par des contrepoids. L'appareil était double, pour éviter toute interruption dans la manœuvre, et il était entièrement automatique. Le remplissage de la bâche, sa vidange, la substitution d'un des appareils à l'autre, se faisaient sans intervention de l'éclusier, dont le rôle était borné à ouvrir ou à fermer les robinets qui conduisaient l'eau comprimée sur les diverses parties du mécanisme de manœuvre. Tous ces robinets se trouvaient d'ailleurs réunis sur un même point, à l'intérieur d'une guérite placée sur le bajoyer commun aux deux sas, près de son extrémité d'aval, et d'où l'éclusier pouvait effectuer toutes les manœuvres des deux écluses, sans avoir besoin d'en sortir, et par suite sans perte de temps.

Il paraît inutile d'insister sur les avantages de l'emploi d'une semblable disposition.

Lorsque les canaux sont moyennement fréquentés, qu'il n'y passe par jour que dix à vingt bateaux, l'éclusier peut jouir, entre chaque manœuvre, de quelques instants qu'il met à profit pour vaquer aux autres parties de son service, en même temps qu'il se repose de la fatigue musculaire résultant de la manœuvre.

Mais sur les canaux fréquentés, où il passe quarante, cinquante bateaux par jour et même davantage, la manœuvre des écluses doit s'opérer d'une manière incessante, pendant quinze à vingt heures par jour, sans un instant de repos, et alors, non seulement l'éclusier doit négliger ces parties accessoires de son service, au soin desquelles la fatigue le rend incapable de se consacrer, mais il ne peut suffire à sa besogne principale qu'avec l'aide d'un ou de deux auxiliaires ou des bateliers eux-mêmes, vis-à-vis desquels il perd alors l'autorité nécessaire pour exercer la police de la navigation d'une manière efficace.

La manœuvre automatique des portes et des vannes rend inutile la présence des auxiliaires et constitue, par suite, une

économie ; mais elle a surtout pour effet de laisser à l'éclusier la disponibilité de la plus grande partie de son temps, pour vaquer à l'entretien de l'écluse et de ses abords, pour faire et enregistrer soigneusement les observations de hauteurs d'eau, pour tenir ses registres de passage des bateaux, pour faire la police de la navigation, pour correspondre avec les éclusiers voisins ou avec le garde-canal, et pour toutes les parties accessoires du service qui tendent à prendre chaque jour une importance plus grande.

Elle affranchit enfin l'éclusier de l'obligation d'accepter ou de solliciter le concours des mariniers.

En un mot, par cette disposition, l'éclusier cesse d'être un manœuvre, il devient réellement un agent, et cette transformation n'est pas sans profit pour sa dignité personnelle et pour les qualités que l'administration peut exiger de lui.

Ces appareils de manœuvre devaient entraîner, pour chaque écluse à deux sas, une dépense de 26.000 francs, dont il y avait lieu de déduire les appareils de manœuvre à la main, estimés 6.000 francs. Ils représentaient ainsi une dépense supplémentaire de 20.000 francs, compensée par la possibilité de n'avoir qu'un seul éclusier au lieu de deux ou trois. Ils ne devaient donner lieu, en somme, à aucune augmentation de dépenses, et en présence de leurs avantages il ne semblait pas qu'il pût y avoir d'hésitation à en autoriser l'emploi.

Durée des manœuvres. — Avec les dispositions qui viennent d'être décrites, la traversée des écluses du canal du Nord aurait pu s'effectuer très rapidement. L'entrée ou la sortie des bateaux aurait pu se faire en deux minutes, le remplissage ou la vidange du sas en moins de deux minutes, la fermeture ou l'ouverture des portes en trente secondes, ce qui donnait pour la durée totale du passage, sept minutes environ. On avait admis dix minutes, soit 6 éclusées par heure, ou, pour les deux sas, 180 éclusées pour une journée de quinze heures.

§ III

DÉLIBÉRATIONS AUXQUELLES A DONNÉ LIEU CE PROJET

Conseil général des Ponts et Chaussées. — L'avant-projet qui vient d'être décrit fut soumis le 27 février 1880 au Conseil général des ponts et chaussées, qui en renvoya l'examen à une commission spéciale[1] instituée par décision ministérielle du 3 mai 1880, et chargée en même temps de l'examen des études présentées simultanément par M. Holleaux, ingénieur en chef du service de la navigation de la Belgique vers Paris, études qui lui avaient été demandées par la décision, rappelée précédemment, du 28 mai 1879.

M. Holleaux proposait d'exécuter le prolongement du canal latéral à l'Oise, de Janville à Méry-sur-Oise et le canal de Méry-sur-Oise à Saint-Denis; mais, pour la partie située au nord de Janville, ses propositions consistaient soit à doubler les écluses de la ligne actuelle (canal de Saint-Quentin), soit à construire, de Denain à Ors, la première section du canal projeté de l'Escaut à la Meuse et à se servir, pour le trafic vers Paris, du canal de la Sambre à l'Oise, racheté et amélioré.

La Commission, après un long et laborieux travail, reconnut dans un rapport en date du 8 février 1881, que ces combinaisons, tout en coûtant à la vérité un peu moins cher que la construction proposée d'un canal nouveau, ne réaliseraient pas cependant une économie bien considérable et qu'elles auraient d'autres inconvénients.

« En réunissant sur une seule voie navigable tout le mouvement des transports de houille, on multiplierait les croisements qui ne se font jamais sans retards dans un canal n'offrant

1. Cette commission était composée de MM. Chatoney, Dureteste, Chabas, Charpy et Raillard, inspecteurs généraux des ponts et chaussées. (M. Raillard rapporteur.

que bien strictement le passage de deux bateaux, et chose très grave, on exposerait, en cas d'accident ou de réparation, la navigation la plus importante de la France, à des interruptions qui constitueraient de véritables désastres pour le commerce et l'industrie.

« On ne desservirait directement que le bassin du Nord, dont la production est stationnaire depuis dix ans, ainsi que le bassin de Mons qui est étranger, et on laisserait de côté, à 30 kilomètres à l'ouest, le bassin du Pas-de-Calais qui, pourvu d'immenses richesses et d'installations puissantes, n'attend qu'un débouché direct pour prendre un développement en quelque sorte illimité. »

L'autre combinaison « aura pour résultat de raccoucir de 97 kilomètres sur 344, la distance du bassin du Pas-de-Calais à Paris, et de 61 kilomètres sur 302 celle du bassin du Nord, en réduisant de 13 sur 71 le nombre des écluses à traverser dans le premier parcours, et de 9 sur 68 celui des traversées d'écluses dans le second. On n'aura plus de navigation en rivière. On substituera, pour le passage du faîte séparatif des vallées de l'Escaut et de la Somme, un seul souterrain de 4 kilomètres et demi au long bief de partage du canal de Saint-Quentin, à petite section sur toute son étendue de 20 kilomètres, avec 2 souterrains de près de 7 kilomètres de longueur ensemble. Enfin, sans préciser le chiffre auquel le fret pourra descendre sur le marché de Paris, on a lieu de penser qu'il éprouvera une diminution notable qui influera sur le prix des marchandises similaires des autres provenances, particulièrement de la houille, au grand avantage des intérêts généraux et industriels.

« Il ne faut enfin pas perdre de vue que l'intérêt du développement de nos houillères indigènes n'est pas le seul qui soit engagé dans cette affaire.

« Le canal du Nord constituera en effet une rectification du tronc commun aux voies navigables qui relient Paris à Calais et à Dunkerque. Par les voies actuelles, la distance de ces ports à Paris est de 453 kilomètres; pour le canal du Nord, indépendamment de 13 traversées d'écluses épargnées, cette distance sera diminuée de 97 kilomètres, soit 20 0/0.

« La construction du canal du Nord peut donc être considérée comme le complément des grands travaux qui s'exécutent dans ces ports, et ce côté de la question prend beaucoup d'importance en présence de l'immense extension que la Belgique donne à son port d'Anvers.

« En somme, on ne peut que répéter ici ce que dit M. Flamant (page 47 de sa notice imprimée) : « De toutes les lignes « nouvelles inscrites dans la loi du 5 août 1879, aucune ne ré- « pond à une nécessité aussi évidente, aucune ne peut espérer « un trafic aussi élevé. » (Extrait du rapport de la Commission).

Toutefois, la Commission n'admettait pas l'utilité d'une largeur de 17 mètres au plafond, ni la nécessité de construire immédiatement les deux sas de chaque écluse. Elle résumait dans les termes suivants son avis, en date du 8 février 1881 : « La commission saisie de l'examen des deux projets présentés par MM. les ingénieurs en chef Holleaux et Flamant est d'avis, à la majorité des voix : 1° Qu'il y a lieu de ne prendre en considération que celui de M. Flamant et de le soumettre à l'enquête d'utilité publique ; 2° De faire connaître, dans la notice explicative à joindre au dossier de l'enquête, que la largeur au plafond du canal sera fixée à 11 mètres, et que, pour le moment, les écluses ne seront pas doublées; mais qu'on prendra les dispositions nécessaires pour pouvoir construire facilement les secondes écluses quand le besoin s'en fera sentir. »

Cet avis fut discuté par le Conseil général des ponts et chaussées qui, dans sa séance du 24 février 1881, adopta les conclusions de la Commission sous la réserve que les deux projets de MM. Holleaux et Flamant seraient mis concurremment à l'enquête.

La décision ministérielle du 12 mars 1881, ordonnant, conformément à l'avis du Conseil des ponts et chaussées, que les deux projets seraient soumis simultanément à une même enquête d'utilité publique, fut le signal, dans la région du Nord, d'une émotion et d'une agitation extraordinaires.

Agitation dans la région du Nord. — L'avant-projet de canal du Nord, dont les intéressés avaient eu connaissance,

dans le courant de l'année 1880, par la notice imprimée dont il est question ci-dessus, et qui avait été distribuée aux membres du Conseil général des ponts et chaussées et à quelques autres personnes, avait été accueilli froidement. L'opinion publique, persuadée que l'on ne pourrait obtenir un abaissement sensible du fret qu'en augmentant la capacité des bateaux jusqu'à 500 ou 600 tonnes, n'était pas satisfaite d'un canal dont les écluses ne pourraient livrer passage qu'aux bateaux de 300 tonnes du type ordinaire. D'un autre côté, pendant la durée des études, des rivalités entre les diverses localités qui pouvaient être desservies par les tracés indiqués par la Commission d'études, Beauvais, Clermont, Montdidier, etc., s'étaient accentuées, et le projet nouveau, qui ne donnait satisfaction à aucune de ces localités secondaires, qui même, au premier abord, semblait délaisser Amiens, n'était pas fait pour rallier leurs suffrages. Le point de départ même du tracé prêtait à la critique. La localité de Courcelles-lès-Lens n'a aucune importance industrielle et chacune des diverses concessions houillères eût certainement préféré voir l'origine du canal rapprochée de ses fosses.

Les plus intelligents, parmi les intéressés, comprenaient bien qu'un canal à point de partage, devant franchir des collines et les traverser en souterrain, n'est pas dans les mêmes conditions qu'un grand fleuve navigable, et que l'on ne pouvait raisonnablement proposer d'ouvrir le canal du Nord avec des dimensions qui eussent permis la circulation de bateaux de même tonnage que ceux auxquels la Seine approfondie devait livrer passage. Ils se rendaient bien compte, également, que l'important, pour le canal du Nord, n'était pas de desservir telle ou telle localité plutôt que telle autre, mais d'être tracé, entre le Nord et Paris suivant la ligne la plus directe et la plus courte. Mais ils étaient d'abord en minorité.

Dans l'ouverture simultanée d'une enquête sur les deux avants-projets, les principaux intéressés, à tort ou à raison, crurent voir, de la part du gouvernement, une préférence pour le projet de M. l'ingénieur en chef Holleaux, et l'intention de le faire prévaloir sur l'avant-projet du canal du Nord. Ils sentirent alors la nécessité d'éclairer l'opinion publique, de la

ramener au sentiment des véritables intérêts de la région, et de provoquer une éclatante manifestation en faveur de ce projet.

Comité d'action. — Sur l'initiative du Comité des houillères du Nord et du Pas-de-Calais, il se constitua un Comité d'action, présidé par M. Testelin, sénateur, composé de notabilités commerciales et industrielles, et chargé de provoquer des adhésions au projet du canal du Nord, et d'en poursuivre la réalisation. Ce Comité commença son œuvre de propagande en convoquant à Lille, pour le 1er avril 1881, les membres de toutes les Chambres de commerce des départements intéressés, ainsi que les sénateurs, les députés et les maires des principales villes, pour leur exposer les avantages, pour la région du Nord, du projet qui allait être mis aux enquêtes et la nécessité de profiter de cette enquête pour faire une démonstration énergique en faveur de ce projet. Dans le même but, il fit distribuer, à profusion, une brochure anonyme, accompagnée d'une carte du tracé, et dans laquelle étaient exposés, sous une forme accessible à la grande masse des lecteurs, les principaux arguments qui établissaient l'utilité du canal projeté, ainsi que la nécessité de l'ouvrir avec les dimensions de l'avant-projet, c'est-à-dire avec 17 mètres de largeur au plafond et des écluses jumelles.

Cette active propagande produisit le résultat qu'on en attendait.

Enquête. — Dans l'enquête ouverte du 1er mai au 1er juin 1881 dans le département de l'Aisne, et du 10 mai au 10 juin dans les six départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de l'Oise, de Seine-et-Oise et de la Seine, il fut reçu en totalité 17.608 dépositions, émanant de toutes les notabilités industrielles et commerciales, comprenant 996 délibérations des conseils municipaux, et de très nombreuses délibérations de conseils généraux et d'arrondissement, des comités industriels, houiller, linier, cotonnier, d'agriculture, etc., etc. La presque unanimité de ces déposants demandait :

1° L'adoption du tracé le plus direct entre le Nord et Paris.

2° La largeur de 17 mètres au plafond et les écluses jumelles.

Les sept commissions d'enquête, instituées dans les sept départements, se trouvaient d'accord pour appuyer les mêmes vœux. Elles avaient, en même temps, émis diverses propositions d'intérêt local qu'il est inutile de rappeler, à l'exception, toutefois, de la demande faite par celle du département de la Seine et qui avait pour objet une modification radicale du tracé de la section de Méry-sur-Oise à Saint-Denis. Cette commission avait demandé que le canal arrivât, de niveau, au bassin de la Villette, afin que ses eaux d'alimentation pussent être ajoutées à celles qu'y amène le canal de l'Ourcq.

L'étude de cette variante fut poursuivie pendant l'automne de 1881. On reconnut que, pour arriver au résultat cherché, il fallait que le nouveau canal vînt s'embrancher au canal de l'Ourcq, aux environs du village de Sevran, et qu'alors son point de départ, dans la vallée de l'Oise, devait être remonté de Méry-sur-Oise jusqu'aux environs de Gouvieux. La construction d'un souterrain, entre Bellefontaine et Puisieux, devenait alors nécessaire. Le service du génie militaire, auquel cette variante fut soumise en même temps que le tracé principal, la rejeta d'une façon absolue, déclarant sa construction dangereuse pour la défense du camp retranché de Paris. Elle fut donc abandonnée, et ce fut l'avant-projet primitif, sans modification, qui après avoir été approuvé le 29 décembre 1881 par le Conseil général des ponts et chaussées, fut présenté par le gouvernement à la Chambre des députés, le 14 janvier 1882.

Opposition de la Compagnie du touage. — Parmi les observations présentées dans l'enquête, il en était une, émanant de la Compagnie du touage de la basse Seine et de l'Oise, qui protestait énergiquement contre la construction de la section de Méry-sur-Oise à Saint-Denis et de celle de Janville à Méry-sur-Oise, contestant leur utilité et alléguant que la navigation fluviale suffisait aux besoins du commerce. Elle affirmait en outre que la durée des chômages, occasionnés par les crues de la rivière entre Janville et Paris, ne dépassait pas, en moyenne, onze jours par an, que les encombrements étaient rares et pouvaient être diminués par une exacte observation des prescriptions de son cahier des charges.

Ces allégations furent vivement contredites par les représentants des industries du Nord et de la batellerie, ainsi que par les Ingénieurs. Elles eurent néanmoins pour résultat d'augmenter la durée de l'instruction du projet de loi. La commission de la Chambre des députés, chargée de l'examiner, crut devoir à plusieurs reprises se transporter sur les lieux, à Janville, à Pontoise, à Bougival, pour y entendre les dépositions des bateliers et des intéressés. Elle était d'ailleurs préoccupée des embarras auxquels pouvait donner lieu, pour le Trésor, la crise financière qui avait éclaté au commencement de l'année 1882 et, craignant d'imposer aux budgets futurs une trop lourde charge, elle ne crut pas devoir engager immédiatement l'ensemble de l'œuvre projetée.

Commission de la Chambre des députés. — Voici comment M. Sadi Carnot, son rapporteur, résumait l'opinion de cette commission parlementaire, dans le rapport déposé par lui le 11 juillet 1882.

La commission a reconnu, « avec tous les corps délibérants de la région du Nord et avec les 17.000 déposants aux enquêtes, que le canal projeté n'est pas destiné à satisfaire seulement des intérêts spéciaux et localisés, et que c'est une œuvre nationale ayant tous les caractères d'une entreprise d'utilité générale.

« Elle a reconnu que l'ouverture de la première section, entre Courcelles-lès-Lens et Janville, destinée à combler une véritable lacune en présence de l'insuffisance incontestée des voies actuelles, s'impose à bref délai, au moment où les travaux d'amélioration de la Seine vont créer des facilités nouvelles à l'importation des charbons étrangers. Le développement rapide de la production minérale du Pas-de-Calais et l'extension du trafic que nous devons attendre des grands travaux en cours d'exécution à Dunkerque et à Calais, rendent urgent le doublement d'une voie qu'un accident peut intercepter au grand dommage du pays.

« La seconde section ne présente peut-être pas le même caractère d'urgence, puisqu'entre Janville et Paris il existe une voie fluviale, défectueuse, sans doute, pendant une partie de

l'année, mais capable de suffire à d'importants transports, au moins à la descente. Les irrégularités d'une navigation en rivière, pour un trafic de plusieurs millions de tonnes, constituent certainement de graves inconvénients et entraînent des pertes pour le commerce, sans créer un péril, et on peut à la rigueur attendre pour lui substituer une navigation meilleure. »

Mais il importait de se ménager la possibilité d'entreprendre l'exécution de la section ajournée dès que l'importance du trafic la rendrait nécessaire, et la commission, considérant le développement rapide des constructions et des usines dans la plaine de Saint-Denis et aux environs de Saint-Gratien, proposait de déclarer l'utilité publique de l'ensemble du travail, en allouant les crédits nécessaires pour l'exécution de la partie comprise entre Courcelles-lès-Lens et Janville et pour l'acquisition des terrains destinés à la section de Méry-sur-Oise à Saint-Denis. La dépense se trouvait ainsi réduite de 105 millions à 60 millions de francs. Une nouvelle loi, portant ouverture d'un crédit complémentaire de 45 millions, aurait été nécessaire pour autoriser, ultérieurement, l'exécution de la partie comprise entre Janville et le canal Saint-Denis.

La discussion de ces propositions fut retardée successivement par les vacances parlementaires et par les débats auxquels donna lieu le budget de 1883.

Au commencement de 1883, six mois après qu'elles avaient été déposées, la situation financière n'était plus la même, l'équilibre du budget était menacé, on éprouvait le besoin de restreindre toutes les dépenses, et la commission parlementaire, avant d'ouvrir la discussion, crut utile de modifier ses propositions dans un rapport supplémentaire déposé le 15 février 1883.

Un amendement, déposé le 25 janvier, proposait d'abandonner définitivement la section comprise entre Janville et le canal Saint-Denis ; et la Commission, sans s'y rallier, convaincue que les améliorations de détail qu'on pourra réaliser sur l'Oise ne dispenseront pas, à un moment donné, de compléter le grand canal du Nord, mais cependant, ne voulant pas lier le gouvernement par l'engagement moral qui résulterait pour lui de l'acquisition des terrains à occuper dans une partie de

cette section, modifia ses propositions précédentes en supprimant l'autorisation d'acquérir ces terrains et proposa simplement de déclarer d'utilité publique la partie comprise entre Courcelles-lès-Lens et Janville.

La dépense se trouvait ainsi réduite à 56 millions de francs.

Projet de loi adopté par la Chambre. — Les propositions vinrent à l'ordre du jour, à la Chambre des députés, le 1er mars 1883 ; la discussion fut continuée le 3 mars et le projet de loi, modifié par la commission, fut adopté en première délibération. Il fut l'objet, le 10 mars, d'une seconde délibération à la suite de laquelle il fut définitivement adopté dans les termes suivants :

« Art. 1er. — Est déclarée d'utilité publique, entre Courcelles-lès-Lens et Janville, la construction d'un canal de navigation destiné à mettre la région industrielle du Nord en communication avec Paris. Les travaux seront exécutés, pour cette section, conformément aux dispositions générales de l'avant-projet adopté par le Conseil général des ponts et chaussées dans sa délibération du 29 décembre 1881.

« Art. 2. — La dépense, évaluée à 56 millions de francs, sera imputée sur les ressources extraordinaires inscrites au budget de chaque exercice pour l'établissement et l'amélioration des canaux de navigation. »

C'est sous cette forme que le projet de loi fut présenté au Sénat.

Sénat. — La Commission chargée de l'examiner lui fit un accueil favorable et M. de Freycinet, dans le rapport qu'il déposa dans la séance du 5 mai 1883, écartait par les considérations déjà développées antérieurement toutes les objections qui y étaient faites, et en proposait l'adoption pure et simple.

Cette proposition resta stérile. Le Sénat, de plus en plus préoccupé de la situation financière du Trésor, ne semblait pas disposé à y donner son assentiment. Le gouvernement de son côté, après avoir appuyé le projet de loi devant la Chambre des députés, était obligé de reconnaître que l'état du budget lui interdisait toute entreprise nouvelle de quelque

importance, et il consentit à ce que ce projet fût retiré de l'ordre du jour du Sénat. Ce retrait eut lieu au cours de la session ordinaire de 1884.

Résumé. — En résumé, et pour rappeler les dates principales de l'historique qui précède, l'instruction de l'avant-projet du canal du Nord sur Paris a duré plus de cinq années, depuis la constitution de la Commission d'études en septembre 1878, jusqu'au moment où elle a été ajournée en 1884.

Le service d'études a été constitué à la date du 1er décembre 1878.

La première étude sommaire a été faite en moins de trois mois, du 1er décembre 1878 au 28 février 1879, délai dans lequel on a dû en même temps constituer un service absolument nouveau. La décision qu'elle réclamait a été rendue après un autre délai de trois mois, le 28 mai 1879.

L'avant-projet complet fut présenté le 27 février 1880, neuf mois après cette décision, soit une année après l'étude sommaire. Il ne fut discuté par le Conseil général des ponts et chaussées que le 24 février 1881 et la mise aux enquêtes n'en fut autorisée que plus d'une année après sa présentation, le 12 mars 1881.

Les enquêtes, dans sept départements, leur préparation et les travaux des commissions d'enquête durèrent moins de quatre mois, du 12 mars au 8 juillet 1881 ; le dépouillement des registres déposés aux sept préfectures et aux treize sous-préfectures intéressées et contenant plus de 17.000 dépositions a exigé trois mois, du 8 juillet au 8 octobre 1881.

Le Conseil des ponts et chaussées statua sur l'affaire le 29 décembre 1881 et le projet de loi fut déposé par le gouvernement sur le bureau de la Chambre des députés le 14 janvier 1882, neuf mois après la décision ordonnant la mise aux enquêtes.

La Chambre des députés n'adopta définitivement le projet de loi que le 10 mars 1883, quatorze mois après sa présentation, et plus de quatre ans après la date de la première étude sommaire.

De ces quatre années, une a été consacré aux études, et

quatre mois aux enquêtes. Le reste, soit deux ans et huit mois, a été consacré aux délibérations du Conseil général des ponts et chaussées et de la Chambre des députés. Il est permis de supposer, par l'exemple de bien d'autres affaires, que ce délai aurait pu être réduit à deux ou trois mois pour chacune des deux assemblées. Dans ces conditions le vote de la Chambre des députés aurait eu lieu en juillet 1881, et celui du Sénat en décembre de la même année, avant la crise financière de janvier 1882, qui a été la cause principale des objections subies par le projet de loi, des réductions dont il a été l'objet et en dernier lieu de son retrait de l'ordre du jour du Sénat.

II. — *Projet d'un canal reliant la région houillère et industrielle de Saint-Étienne avec le canal latéral à la Loire et avec le Rhône*[1].

La loi du 5 août 1879 a classé parmi les voies navigables principales le prolongement du canal latéral à la Loire de Roanne à la Fouillouse, et le tableau annexé à cette loi porte : « Ce canal est destiné à relier le bassin industriel de Saint-Étienne avec le canal latéral à la Loire. — Il devra être prolongé jusqu'au Rhône et réunira ce fleuve à la Loire. »

Le canal de la Loire au Rhône aura pour objet principal de desservir le bassin houiller et industriel de Saint-Étienne, en lui offrant une voie économique pour le transport de ses produits, d'un côté vers les bassins de la Seine et de la Loire, de l'autre vers le bassin du Rhône. Mais il fera en outre partie de la voie navigable la plus courte et la plus économique entre le Rhône et le canal latéral à la Loire, ou entre la vallée du Rhône d'un côté, Paris, Nevers et le nord-ouest de la France de l'autre.

En effet, le temps employé par un bateau pour aller d'un point à un autre sur un canal de navigation, avec un mode de

1. Nous empruntons cet exposé à une note de M. Jollois.

traction déterminé, est proportionnel à la longueur de la voie et au nombre d'écluses à franchir. En supposant que l'on emploie un mode de halage accéléré, on peut admettre que le passage d'une écluse de $2^m,50$ de hauteur de chute correspond, en temps, au parcours de 1 kilomètre, ou que 1 mètre de hauteur correspond à 400 mètres de parcours.

La distance de Givors à Paris en passant par le canal de Bourgogne serait, d'après cela, équivalente à 900 kil., savoir:

Parcours horizontal	669 kil.
Hauteur totale à franchir $577^m,68$ équivalant à un parcours horizontal de.	231
Total	900 kil.

La distance entre Givors et Paris en passant par le canal du Centre serait équivalente à 862 kil., savoir :

Parcours horizontal	664 kil.
Hauteur totale à franchir $494^m,40$ équivalant à	198
Total	862 kil.

Enfin par le canal de la Loire au Rhône, entre Givors et Roanne, le passage d'un bief à l'autre se ferait par des ascenseurs hydrauliques ou par des plans inclinés franchissant chacun une hauteur moyenne de 25 mètres environ, dont le passage n'exige pas plus de temps que celui d'une écluse de $2^m,50$ de hauteur de chute. On peut donc admettre que par ces appareils 1 mètre de hauteur à franchir équivaut comme temps au parcours horizontal de 40 mètres.

Il en résulte que la distance de Givors à Paris serait équivalente à 715 kilomètres, savoir :

Parcours horizontal	569 kil.
Hauteur totale à franchir entre Givors et Roanne, $539^m,10$ équivalant à.	21
Hauteur totale à franchir entre Roanne et Paris par les anciens canaux, $312^m,94$ équivalant à. . . .	125
Total	715 kil.

En outre, sur le canal projeté, tous les obstacles à la navigation, tels que ponts et tranchées à une seule voie, seraient

supprimés ; les longs biefs permettraient l'installation de toueurs ou de remorqueurs à vapeur. La navigation y serait donc très facile et les transports par eau entre le Rhône d'un côté, la Loire et la Seine de l'autre, se feraient par le canal de la Loire au Rhône.

Evaluation du trafic probable. — Pour évaluer le trafic probable du canal de la Loire au Rhône, nous supposerons qu'on ne construise d'abord que la première section, de Roanne à la Fouillouse. Comme la majeure partie des marchandises qui seront transportées par le canal proviendront des mines et des établissements métallurgiques du bassin houiller de Saint-Étienne, nous apprécierons séparément le tonnage de ces marchandises.

Puis nous supposerons que la deuxième section de la Fouillouse à Givors soit ouverte et nous évaluerons l'augmentation de trafic. Elle proviendrait :

Des expéditions du bassin houiller et métallurgique dans la direction de Saint-Étienne au Rhône ;

Des mines de houille et des établissements industriels de la vallée du Gier dans la direction de Roanne ;

Du transit du Rhône à la Loire et inversement.

Enfin nous évaluerons le trafic agricole, et celui des petites industries locales disséminées sur le parcours du canal pour chacune des deux sections.

Tous nos chiffres résultent d'enquêtes très sérieuses. Ils se résument ainsi :

1° Trafic de la 1re section entre la Fouillouse et Roanne, supposée seule ouverte à la navigation, sur une longueur de 84 kilomètres. Tonnes kilométriques	86.352.000
2° Trafic de la 2e section du canal entre la Fouillouse et Givors, supposée seule ouverte à la navigation, sur une longueur de 40 kilomètres. Tonnes kil	47.595.300
3° Trafic des établissements industriels de la vallée du Gier dirigé vers Roanne, le canal étant	
A reporter.	133.947.300

Report.	133.947.300
ouvert sur toute sa longueur de 124 kilomètres. Tonnes kil	14.261.000
4° Trafic de transit de la Loire au Rhône et réciproquement. Tonnes kil	12.400.000
Total général.	160.608.300

Le tonnage moyen par kilomètre pour tout le canal entre Roanne et Givors serait de $\frac{160.608.300}{124} = 1.300.000$ en nombre rond.

Mais nous pensons que ce tonnage augmentera sensiblement après un certain nombre d'années d'exploitation, lorsque les bateaux de 300 tonnes pourront circuler facilement du Rhône à Paris et que la batellerie aura transformé son matériel, pour utiliser le mieux possible les nouvelles voies navigables.

Parmi les canaux de plus de 30 kilomètres de longueur, il n'y a que le canal de Saint-Quentin, et l'Oise canalisée dont le trafic dépasse 1.300.000 par kilomètre.

On peut donc affirmer que le canal de la Loire au Rhône serait l'un des plus importants et des plus utiles de la France.

Description de la vallée de la Loire, entre la Fouillouse et Roanne. — Le canal de la Loire au Rhône devant desservir principalement le bassin houiller et industriel de Saint-Étienne, doit nécessairement passer près de Saint-Étienne dans la vallée du Furens et suivre la vallée du Gier où se trouvent les établissements importants de Terrenoire, Saint-Chamond, Rive-de-Gier et Givors.

Les vallées du Furens et du Gier sont séparées par les contreforts des chaînes de montagnes du Pilat, au Sud, et du Beaujolais au nord. On peut passer de l'une à l'autre vallée par deux cols, celui de Terrenoire, où se trouvent déjà la route nationale n° 88 de Lyon à Toulouse et le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, et le col de Sorbier où passe la route départementale n° 7 de la Loire au Rhône.

Quel que soit le col que l'on adopte pour le canal, on sera

toujours forcé de passer par la vallée du Furens à la Fouillouse; d'ailleurs la loi du 5 août 1879 a formellement classé la première partie du canal entre Roanne et la Fouillouse. Cette dernière localité est donc un point de passage obligé, et nous pouvons étudier le tracé entre Roanne et la Fouillouse sans nous préoccuper de celui que l'on devra suivre entre la Fouillouse et Givors.

A Roanne, le point de départ est le bassin de tête du canal de Roanne à Digoin, dont le plan d'eau doit être relevé à l'altitude 268^{m},50 au-dessus de la mer. A la Fouillouse le point d'arrivée doit être choisi en un lieu où la vallée du Furens présente un élargissement suffisant pour l'établissement d'un port; un seul emplacement remplit cette condition, c'est le confluent du Furens et de l'Onzon et l'embranchement des routes nationale n° 82 de Roanne au Rhône et départementale n° 7 de la Loire au Rhône, au lieu dit Ratarieux, où l'altitude du sol est de 433 mètres et où le plan d'eau du canal pourrait être établi à 433.70. La différence de niveau à franchir est ainsi de 165.20.

La région comprise entre l Fouillouse et Roanne fait partie du bassin de la Loire, limité à l'est par les montagnes du Beaujolais, à l'ouest par celles du Forez. Elle peut être considérée, au point de vue topographique, comme divisée en quatre contrées :

1° La vallée du Furens, limitée au nord par un contrefort des monts du Beaujolais qui s'élève à l'altitude 450 mètres. Le Furens se jette dans la Loire à Andrézieux;

2° La plaine du Forez qui s'étend sur 40 kilomètres de longueur entre Andrézieux et Balbigny, et sur 20 kilomètres de largeur entre Montbrison et Bellegarde. La Loire la traverse dans sa plus grande longueur du sud au nord avec une pente totale de 50 mètres. Les pentes transversales de la plaine varient de 0^{m},004 à 0^{m}006. L'altitude moyenne de la plaine est de 370 mètres;

3° Le plateau de Neulize qui sépare la plaine du Forez de celle de Roanne ; sa largeur est de 20 kilomètres. Sa surface est fortement ondulée; elle domine de 80 à 100 mètres le ni-

veau de la plaine du Forez et de 120 à 140 mètres celui de la plaine de Roanne.

La Loire le traverse dans les gorges étroites et escarpées de Pinay, sur une longueur développée de 25 kilomètres ;

4° La plaine de Roanne qui, en amont de Roanne, n'a que 3 kilomètres de longueur et dont l'altitude moyenne, dans cette partie, est de 280 à 285 mètres.

La constitution géologique est en rapport avec le relief du sol.

Les plaines de Roanne et du Forez sont occupées par le terrain tertiaire qui, sur les bords de la Loire, est recouvert par des alluvions anciennes et modernes.

Le plateau montagneux de Neulize, qui sépare les deux plaines, est tout entier formé par le terrain de grès à anthracite, coupé par de puissants filons de porphyre quartzifère.

Le grès repose, sur la rive droite de la Loire, entre Port-Garet et Poully-les-Feurs, sur une bande de terrain carbonifère.

Les collines qui limitent la plaine du Forez à l'Est, à l'Ouest et au Sud sont de granit ou de gneiss.

La vallée du Furens, jusqu'à un kilomètre en amont du village de la Fouillouse, est ouverte dans le gneiss, et plus en amont dans le terrain houiller.

Tracé du canal. — Ascenseurs hydrauliques. — Cette description sommaire suffit pour montrer que l'obstacle le plus important et le plus difficile à franchir est le plateau de Neulize. Le chemin de fer de Roanne à Saint-Étienne s'élève sur ce plateau jusqu'à l'altitude de 420m,66, par une rampe de 137 mètres de hauteur totale, et redescend dans la plaine du Forez par une pente de 90 mètres.

Un canal pourrait également le franchir en remontant la vallée du Rhins et de son affluent le Gand, puis redescendant la vallée du Bernand, suivant le tracé de l'ancien chemin de fer de Saint-Étienne à Roanne, qui atteignait l'altitude 518 mètres. Mais il y aurait de graves inconvénients pour la navigation à monter 250 mètres pour redescendre ensuite de 135 mètres dans une distance de 25 kilomètres environ, et à franchir le col par un souterrain de 5 kilomètres environ. En

outre, l'alimentation du bief de partage, à une altitude de 518 mètres, serait très difficile. Aussi nous semble-t-il qu'il est absolument nécessaire de franchir le plateau de Neulize sans contrepente et sans bief de partage.

On ne peut songer à établir la navigation dans le lit de la Loire, canalisé ; ce fleuve est un véritable torrent dont les crues s'élèvent de 13 à 20 mètres, qui roule d'énormes pierres et des quartiers de rocher. La navigation y serait trop fréquemment interrompue par les crues et par les glaces.

Il n'est pas possible non plus d'établir le canal dans les gorges de Pinay, à une faible hauteur au-dessus du fleuve, parce que ces gorges sont trop étroites, leurs flancs trop escarpés et coupés par un grand nombre de ravins. Les coteaux rocheux qui bordent la Loire sont souvent inclinés à plus de 45° sur l'horizon vers le fond du ravin ; quelquefois leurs parois sont verticales sur une grande hauteur, mais leurs sommets sont arrondis, de sorte que la pente transversale du sol va en diminuant à mesure que l'on s'élève, et le terrain devient praticable pour l'établissement d'un canal près du sommet des coteaux.

Il faut donc diriger le tracé au sommet des collines qui bordent la Loire en le maintenant à la plus grande hauteur possible.

Cette hauteur sera déterminée par la nécessité d'établir le tracé dans la plaine du Forez, sans s'élever sur le pied des montagnes qui la bordent, et en outre par l'obligation de faire passer le canal sous le chemin de fer de Lyon à Montbrison près de Bellegarde, si l'on adopte le tracé par la rive droite, et près de Montbrison par la rive gauche. Il en résulte que le plan d'eau d'un long bief qui commencerait en amont de Bellegarde ou de Montbrison et se prolongerait dans la traversée du plateau de Neulize serait fixé, dans le tracé par la rive droite, à 385^{m},20, et par la rive gauche à 390 mètres.

C'est à partir du saut du Perron, où la Loire forme une large boucle, que le plateau de Neulize commence à s'abaisser vers la plaine de Roanne ; la chute se fait dans un intervalle de 5 kilomètres entre le saut du Perron et Commières, et c'est dans ce court espace que le canal devra descendre de

100 mètres environ. Dans ces conditions, l'emploi d'appareils élévateurs hydrauliques ou de plans inclinés s'impose pour franchir une aussi grande différence de niveau. En effet, si l'on employait des écluses conformes au type généralement admis dans les anciens canaux, et même en portant à 4 mètres la chute de chaque écluse et en réduisant à 400 mètres la longueur des biefs, il faudrait 25 écluses et un développement de 10.000 mètres pour franchir les 100 mètres de hauteur ; or le passage d'une écluse prendrait 20 minutes, équivalant pour la traction des bateaux à une augmentation de parcours de 1.000 mètres au moins. Avec des écluses, le trajet du saut du Perron à Commières équivaudrait donc à 35.000 mètres parcourus dans un même bief.

En employant au contraire des élévateurs hydrauliques ou des plans inclinés, trois de ces appareils permettront de franchir la hauteur de 100 mètres avec une distance de parcours de 5.000 mètres. Le passage d'un de ces appareils demandant moins de temps que celui d'une écluse, le trajet du saut du Perron à Commières équivaudrait à moins de 8.000 mètres, et l'économie de temps pour la navigation ne serait pas moindre de 540 minutes ou 9 heures.

La dépense de construction de 10 kilomètres de canal avec 25 écluses s'élèverait à 9.525.000 francs se décomposant ainsi :

10 kil. à 690.000 francs le kilomètre. . . .	6.900.000 fr.
25 écluses à 105.000 francs l'une.	2.625.000
Total	9.525.000 fr.

La dépense de 5 kilomètres de canal avec 3 appareils élévateurs s'élèverait à 7.050.000 francs, savoir :

5 kilomètres à 690.000 francs.	3.450.000 fr.
3 appareils élévateurs à 1.200.000 fr. l'un .	3.600.000
Total.	7.050 000 fr.

Le personnel nécessaire pour la manœuvre de 25 écluses se composerait de 25 éclusiers, tandis que, pour la manœuvre des 3 appareils élévateurs, 15 éclusiers seraient suffisants.

L'emploi des élévateurs hydrauliques est donc plus écono-

mique et plus favorable à la navigation que celui des écluses ordinaires.

Enfin, sur un canal où le trafic à la descente est beaucoup plus important qu'à la remonte, les appareils hydrauliques élévateurs ne consomment pas d'eau et peuvent même faire remonter une petite quantité d'eau du bief inférieur au supérieur; leur emploi rend donc beaucoup plus facile l'alimentation du canal.

Les projets remarquables dressés par MM. Clark et Duer pour la construction d'un ascenseur hydraulique aux Fontinettes, sur le canal de Neuffossé, conduiront à une solution très satisfaisante du problème pour des hauteurs de chute plus petites que 20 mètres.

Dans ces projets deux bassins égaux en tôle, que l'on peut mettre en communication avec les deux biefs inférieur et supérieur et dans lesquels les bateaux flottent, sont portés sur des pistons de presses hydrauliques ; les presses hydrauliques communiquant ensemble, les deux sas se font équilibre lorsqu'ils contiennent des hauteurs d'eau égales.

Il semble difficile de donner plus de 20 mètres de hauteur aux pistons qui supportent les bassins. Mais M. Barret, ingénieur des docks de Marseille, est inventeur breveté d'un système dans lequel les deux bassins mobiles sont suspendus à deux grands arbres horizontaux au moyen de huit ou dix chaînes de Galle à deux brins, de façon que chaque brin ne supporte qu'une tension maxima de 40 tonnes. L'appareil forme ainsi une balance d'eau. De petites presses hydrauliques permettent de régler à chaque instant l'uniformité de la tension de toutes les chaînes. Lorsque les bassins sont au repos, ils sont supportés par des verrous et les chaînes ne fatiguent pas. Des dispositions spéciales sont prises pour que le mouvement des sas soit uniforme et ne s'accélère pas, pour que ce mouvement puisse être arrêté en un point quelconque de la marche en cas d'accident.

Le système de M. Barret est applicable à une différence quelconque de niveau entre les deux biefs du canal; il en serait de même si l'on employait un plan incliné au lieu d'un ascenseur hydraulique.

Il n'est pas douteux que si l'administration met au concours des projets d'élévateurs ou de plans inclinés pour franchir d'un seul coup des hauteurs de 20 à 50 mètres, et même davantage, les ingénieurs spécialistes et les grands établissements de construction ne répondent à son appel et ne lui apportent la solution complète du problème.

On pourra donc étudier les détails du tracé du canal de Roanne à la Fouillouse en partant des données principales suivantes :

Le plateau de Neulize sera traversé au moyen d'un long bief établi près du sommet des collines qui bordent la Loire et dont le plan d'eau sera à l'altitude 385^{m},20 pour un tracé par la rive droite, et à 390 mètres pour un tracé par la rive gauche.

Deux biefs consécutifs pourront avoir une différence de niveau considérable et l'on emploiera, pour passer de l'un à l'autre, des élévateurs hydrauliques ou des plans inclinés.

Alimentation en eau du canal. — Les prises d'eau pour l'alimentation du canal doivent compenser les pertes et consommations d'eau dues à diverses causes, que l'on peut considérer comme partagées en deux classes :

1° Les causes physiques indépendantes du mouvement de la navigation, qui comprennent l'évaporation, les infiltrations et les pertes par les portes des écluses.

Nous admettons que les pertes par évaporation et par infiltration s'élèveront à 1 mètre cube par jour et par mètre courant de canal, pendant les premières années de l'exploitation. Elles pourront être réduites à 0^{mc},50 lorsque les biefs seront suffisamment étanchés.

Les pertes par les portes des écluses sont généralement évaluées à 600 mètres cubes par jour.

2° Les causes qui dépendent du mouvement de la navigation et qui comprennent la consommation d'eau aux écluses ou appareils élévateurs pour passer d'un bief au suivant, et le remplissage des parties du canal qui ont été vidées pendant le chômage.

Nous avons montré que le trafic du canal de la Loire au Rhône, rapporté au parcours total, s'élèvera probablement à

1.300.000 tonnes et qu'il dépassera même ce chiffre après un certain nombre d'années d'exploitation. Disposons donc les moyens d'alimentation pour un trafic de 1.500.000 tonnes, et comme les transports à la descente, venant du bassin houiller de Saint-Étienne, seront beaucoup plus importants que ceux à la remonte, nous admettrons que le chargement moyen d'un bateau ne soit que de 150 tonnes et qu'il passe annuellement 10.000 bateaux sur le canal.

Sur ces 10.000 bateaux, il y en aura 5.000 descendant. Avec une circulation aussi active, il arrivera souvent qu'un bateau montant et un bateau descendant profitent de la même éclusée.

Les bateaux éclusés seront tantôt vides, tantôt chargés plus ou moins complètement. Pour calculer la quantité d'eau consommée par les éclusées, nous supposerons que le passage de 42 bateaux exige 30 opérations de remplissage du sas et que l'éclusage des bateaux montants et descendants, pleins ou vides, se fasse conformément au tableau suivant :

Numéros d'ordre des cas possibles.	NOMBRE d'opérations de manœuvre du sas.	BATEAUX PASSANT D'UN BIEF A L'AUTRE à chaque manœuvre du sas.				NOMBRE de bateaux éclusés	
		DESCENDANTS		MONTANTS			
		Pleins.	Vides.	Pleins.	Vides.	Pleins.	Vides.
1	1	1	»	1	»	2	»
2	9	1	»	»	1	9	9
3	8	1	»	»	»	8	»
4	1	»	1	1	»	1	1
5	1	»	1	»	1	»	2
6	1	»	1	»	»	»	1
7	1	»	»	1	»	1	»
8	8	»	»	»	1	»	8
Totaux. ..	30					21	21
						42	

Si le canal comporte des écluses ordinaires et que la chute la plus grande soit de 4 mètres, le sas ayant 41^{m},20 de lon-

gueur et $5^{m},20$ de largeur, une éclusée sans bateau consommera 857 mètres cubes d'eau.

1er et 5e cas. — L'éclusage de deux bateaux l'un montant, l'autre descendant immédiatement après et portant des charges égales, consomme également 857 mètres cubes.

2e cas. — Pour un bateau vide montant, pesant 40 tonnes, auquel succède immédiatement un bateau plein descendant, pesant 340 tonnes, la consommation d'eau est $857^{mc}+40-340=557^{mc}$.

3e cas. — Pour un bateau plein descendant, la consommation d'eau est $857-340=517^{mc}$.

4e cas. — Pour un bateau plein montant, auquel succède immédiatement un bateau vide descendant, la consommation d'eau est $857+340-40=1.157^{mc}$.

6e cas. — Pour un bateau vide descendant, la consommation est $857-40=817^{mc}$.

7e cas. — Pour un bateau plein montant, après lequel l'écluse sera vidée, la consommation sera $857+340=1.197^{mc}$.

8e cas. — Pour un bateau vide montant, après lequel l'écluse sera vidée, la consommation sera $857+40=897^{mc}$.

Si le canal ne comporte que des appareils élévateurs hydrauliques composés chacun de deux sas mobiles se faisant équilibre, chaque sas ayant 40 mètres de longueur, 6 mètres de largeur, et contenant un volume d'eau que nous désignerons par V, admettons que, pour surmonter la résistance opposée par les frottements, il soit nécessaire d'ajouter au sas descendant 50 mètres cubes d'eau et qu'en outre la manœuvre des presses hydrauliques, accumulateurs, et autres appareils accessoires consomme à chaque opération 40 mètres cubes d'eau, et calculons, comme nous l'avons fait pour une écluse, la consommation d'eau dans les divers cas qui peuvent se présenter :

1° et 5° Le passage simultané de deux bateaux l'un montant, l'autre descendant à charges égales, consommera 90 mètres cubes.

2° Le passage simultané d'un bateau vide montant et d'un bateau plein descendant consommera :

$$90+(V-340)-(V-40)=-210^{mc}.$$

C'est-à-dire que 210^{mc} d'eau sont remontés du bief inférieur au bief supérieur.

3° Un bateau plein descendant seul consommera :

$$90 + (V - 340) - V = -250^{mc}.$$

4° Le passage simultané d'un bateau plein montant et d'un bateau vide descendant consommera :

$$90 + (V - 40) - (V - 340) = 390^{mc}.$$

6° Un bateau vide descendant seul consommera :

$$90 + (V - 40) - V = 50^{mc}.$$

7° Un bateau plein montant seul consommera :

$$90 + V - (V - 340) = 430^{mc}.$$

8° Un bateau vide montant seul consommera :

$$90 + V - (V - 40) = 130^{mc}.$$

Au moyen de ces éléments on a calculé le volume total d'eau à consommer pour l'éclusage de 42 bateaux, soit au moyen d'écluses ordinaires, soit au moyen d'appareils hydrauliques élévateurs. Ces calculs sont indiqués au tableau suivant :

NUMÉROS d'ordre des divers cas.	NOMBRE d'opérations de manœuvre.	CONSOMMATION D'EAU PAR UNE ÉCLUSE — à chaque opération.	CONSOMMATION D'EAU PAR UNE ÉCLUSE — Totale	CONSOMMATION D'EAU PAR UN APPAREIL ÉLÉVATEUR — à chaque opération.	CONSOMMATION D'EAU PAR UN APPAREIL ÉLÉVATEUR — Totale.
		mc.	mc.	mc.	mc.
1	1	857 »	857 »	+ 90	+ 90
2	9	557 »	5.013 »	— 210	— 1.890
3	8	517 »	4.136 »	— 250	— 2.000
4	1	1.157 »	1.157 »	+ 390	+ 390
5	1	857 »	857 »	+ 90	+ 90
6	1	817 »	817 »	+ 50	+ 50
7	1	1.197 »	1.197 »	+ 430	+ 430
8	8	897 »	7.176 »	+ 130	+ 1.040
Pour 42 bateaux : Totaux.			21.210 »		— 1.800
Consommation moy. pour un seul bateau.			505 »		— 43

Nous verrons plus loin que les moyens d'alimentation ne feront pas défaut à notre canal.

La mise à sec d'une partie du canal pendant le chômage sera réduite au strict nécessaire pour exécuter les travaux

d'entretien et de réparation qui ne peuvent pas être entrepris sans vider une partie des biefs.

Nous évaluerons très largement au quart de la longueur du canal la somme des parties qui seront mises à sec chaque année.

Le canal contiendra en moyenne 26 mètres cubes d'eau par mètre courant; en ajoutant 6 mètres cubes pour l'imbibition des terres, nous admettrons que le remplissage exigera 32 mètres cubes d'eau par mètre courant des parties mises à sec ou 8 mètres cubes par mètre courant sur toute la longueur du canal.

Avec ces données, il nous est facile de calculer le volume d'eau nécessaire annuellement pour l'alimentation du canal.

Considérons d'abord le tracé par la rive droite, sans écluses, dans lequel toutes les différences de niveau des biefs sont rachetées par des appareils élévateurs hydrauliques ou par des plans inclinés :

1° Les pertes par évaporation et infiltration à raison de un mètre cube par mètre courant et par jour, pour une longueur de 83.608 mètres et 365 jours consommeront.	30.516.920^{mc}
2° Les pertes par les portes à raison de 600 mètres cubes par jour pendant 365 jours.	219.000
Ensemble. . .	30.735.920^{mc}
3° Le passage aux appareils élévateurs de 10.000 bateaux, fera remonter de l'aval à l'amont	43.000
La consommation sera donc réduite à . .	30.692.920^{mc}
4° Le remplissage après le chômage, à raison de 8 mètres cubes par mètre courant sur 83.608 mètres, consommera	668.864
Total. .	31.361.784

Le tracé par la rive gauche, plus long de 12.079 mètres, consommerait en plus 4.505.467^{mc}

Enfin si le canal comportait une ou plusieurs écluses de 4 mètres de chute, la consommation d'eau par les écluses se-

rait augmentée de 505 + 43 = 548 mètres cubes par bateau, et pour 10.000 bateaux de 5.480.000 mètres cubes.

Toute cette quantité d'eau devra être fournie par des réservoirs à construire dans les vallées des principaux affluents de la Loire, et, pour calculer la capacité de ces réservoirs, nous nous appuierons sur les résultats obtenus dans la vallée du Furens où, depuis plus de vingt-cinq ans, des jaugeages réguliers sont faits chaque jour pour l'alimentation en eau de la ville de Saint-Étienne.

La vallée du Furens, en amont du réservoir de Rochetaillée, a une superficie de 2.500 hectares. Elle débite par année moyenne 14.848.000 mètres cubes, soit 5.939 mètres cubes par hectare de superficie du bassin. La hauteur moyenne annuelle de pluie dans la vallée du Furens étant de 1 mètre, il s'ensuit que le cours d'eau reçoit 0.5939 de l'eau pluviale.

Les réservoirs du canal, pour le tracé par la rive droite, seront sur les principaux affluents de la Loire qui coulent dans les montagnes du Beaujolais, le Malleval, la Coise et le Bernand; pour le tracé par la rive gauche ils seront sur le Malleval, la Mare et le Lignon.

Le bassin du Lignon, situé dans la partie la plus abrupte des montagnes du Forez, est analogue au Pilat pour l'imperméabilité et l'inclinaison du sol; il laisse écouler dans le cours d'eau 0,5939 de l'eau pluviale.

Les montagnes du Beaujolais et le bassin de la Mare, moins abrupts et plus cultivés, ne laissent arriver aux cours d'eau que 0,57 de l'eau pluviale.

Mais l'alimentation du canal doit être assurée non seulement pour les années moyennes, mais aussi pendant celles qui sont très sèches. Par conséquent, après avoir calculé, au moyen des coefficients ci-dessus déterminés et des hauteurs de pluie d'une année moyenne, les débits moyens annuels des cours d'eau alimentant les réservoirs, nous devrons les réduire dans un certain rapport pour trouver les débits pendant les années très sèches. Or, sur le Furens, le débit des années les plus sèches a été 0,6 de celui de l'année moyenne; par analogie nous admettrons que le débit des années sèches soit dans les montagnes du Beaujolais et dans le bassin de la

Mare 0,57 × 0,6 = 0,342, et dans le bassin du Lignon 0,5939 × 0,6 = 0,356 de la quantité de pluie tombée pendant une année moyenne.

Pour l'alimentation du canal, tracé par la rive droite, nous avons étudié trois projets de réservoirs.

Le premier, sur le ruisseau de Malleval, en amont de la Fouillouse, alimentera le bief supérieur. Son bassin hydrologique a 1.600 hectares de superficie; la hauteur moyenne de pluie annuelle est 0m,7607; de sorte que le débit minimum annuel du ruisseau s'élève à 0,342 × 0.7607 × 16.000.000 = 4.162.550 mètres cubes. Le réservoir aurait une capacité de 2.500.000 mètres cubes.

Le second réservoir serait sur la Coise, en amont de Saint-Galmier. Le projet a été étudié complètement en 1859 par M. Delocre, au point de vue de l'atténuation des crues. Son bassin hydrologique est de 16.000 hectares, ou dix fois celui du Malleval; la hauteur de pluie annuelle étant la même, le débit minimum annuel de la Coise en ce point serait de 41.625.500 mètres cubes. La capacité du réservoir serait de 17.450.000 mètres cubes.

Le troisième réservoir serait établi sur le Bernand. Son bassin hydrologique est de 2.600 hectares. La pluie moyenne annuelle étant de 0m,8342, le débit annuel minimum serait 0.342 × 0,8342 × 26.000.000 = 7.417.706 mètres cubes.

La capacité du réservoir serait de 4.300.000 mètres cubes.

Les trois réservoirs ensemble débiteraient au moins 53.205.756 mètres cubes.

Or la consommation d'eau du canal, en supposant qu'il comporte des écluses de 4 mètres de chute dans la plaine de Roanne, ne serait que de 36.427.784 mètres cubes.

L'excédent du débit des réservoirs égal à 16.777.972 représente les pertes d'eau, qu'il est impossible d'éviter lorsque les réservoirs sont pleins et qu'il survient de fortes pluies. Il est assez important pour parer à toutes les éventualités.

Pour le tracé par la rive gauche, le réservoir du Malleval alimentera les deux biefs supérieurs depuis Ratarieux jusqu'à Saint-Just-sur-Loire. A partir de ce point, le grand bief sera alimenté par deux réservoirs. Le plus important sera construit

sur le Lignon à Couzan. Son bassin hydrologique a 12.100 hectares de superficie. La hauteur moyenne de pluie annuelle étant 0m,6489. le débit minimum annuel du réservoir sera de 0,356 × 0,6489 × 121.000.000 = 27.952.016 mètres cubes.

L'autre sera construit dans le bassin de la Mare, dont la perméabilité est semblable à celle du bassin de la Coise. Le bassin hydrologique du réservoir a 9.100 hectares et la hauteur moyenne de pluie annuelle est 0.50. Son débit minimum annuel sera de 0,342 × 0,50 × 91.000.000 = 15.561.000.

Il aura une capacité de 10.000.000 mètres cubes.

Les trois réservoirs ensemble pourront donc débiter annuellement 47.675.566 mètres cubes.

L'alimentation du canal par la rive gauche, avec écluses dans la plaine de Roanne, exigeant 40.933.251, l'excédant 6.742.315 représente le volume de l'eau perdue dans le cas où de fortes pluies arrivent lorsque les réservoirs sont pleins.

Si l'on adoptait la variante suivant laquelle les écluses seraient remplacées dans la plaine de Roanne par un ascenseur, la consommation annuelle d'eau serait diminuée de 5.480.000. On pourrait alors, dans le tracé par la rive droite, supprimer le réservoir du Bernand, et dans le tracé par la rive gauche diminuer de moitié la capacité du réservoir de la Mare.

Tous ces réservoirs seront fermés à l'aval par des barrages en maçonnerie construits suivant le type du barrage du Dorlay, dont le projet a été approuvé le 3 mai 1880 par le Conseil général des ponts et chaussées.

Le barrage du Malleval aura 48 mètres de hauteur et 650 mètres de longueur au couronnement. Le réservoir versera ses eaux dans une rigole qui les conduira dans le bief de la Fouillouse.

Le barrage de la Coise aura 42 mètres de hauteur et 179 mètres de longueur au couronnement. Le réservoir versera ses eaux dans la Coise, où elles seront reprises dans deux rigoles ouvertes sur la rive gauche; la rigole supérieure conduira les eaux dans le bief de Saint-Galmier à la Goyonnière; la rigole inférieure les conduira dans le grand bief de Saint-Galmier à Jeuvre.

Le barrage du Bernand aura 58 mètres de hauteur et 550

mètres de longueur. Le réservoir versera ses eaux dans le Bernand où elles seront reprises par une rigole et conduites dans le grand bief.

Le barrage de la Mare sera fermé par un barrage de 47 mètres de hauteur est de 244 mètres de longueur. Il versera ses eaux dans la Mare, où elles seront reprises par une rigole qui les conduira dans le grand bief du tracé par la rive gauche.

Le barrage du Lignon aura une hauteur de 56 mètres (égale à celle du barrage de Rochetaillée) et une longueur de 265 mètres. Il versera ses eaux dans le Lignon, où elles seront reprises par une rigole qui les conduira dans le grand bief près de Boen.

L'alimentation du canal, en eau, sera ainsi parfaitement assurée pour le tracé par la rive gauche. Les prises d'eau seront échelonnées sur la longueur du canal, de manière à éviter un courant gênant pour la navigation.

Remarquons d'ailleurs que le très faible courant qui pourra exister dans le canal sera dans le sens du mouvement le plus important des marchandises transportées.

III. — *Projets de canaux pour la jonction de la Garonne à la Loire*[1].

La loi de 1879 a classé parmi les voies principales de navigation : 1° un canal de la Garonne à la Loire, à la Charente et à la Sèvre-Niortaise ; 2° la Charente ; 3° la Sèvre-Niortaise et le canal de Marans à la Rochelle. Le législateur a évidemment voulu créer, dans la région centre-ouest, où l'on ne trouve que des voies d'eau isolées et sans communication entre elles, un réseau partant des ports de Bordeaux, Rochefort et la Ro-

1. Il n'a encore été rédigé que des avant-projets, dont les études ont été dirigées par M. l'ingénieur en chef Dingler. Les renseignements qui suivent sont empruntés à un rapport du 2 mars 1882, présenté par une commission dont M. Pairier était le président et M. Simonneau le rapporteur. (Imprimerie nationale, juin 1882.)

chelle pour aller rejoindre, dans les meilleures conditions possibles, la Loire, c'est-à-dire les voies navigables qui desservent le nord, le nord-est et l'est de la France.

Brisson avait tracé un vaste programme pour la solution de cette question. Il proposait plusieurs lignes principales aboutissant à la basse Loire et aux canaux de la haute Loire ; il n'est pas possible, aujourd'hui que les pays à traverser sont sillonnés de voies ferrées, d'adopter ce programme beaucoup trop étendu. On est obligé de se contenter d'une seule voie principale pour desservir les trois directions. Heureusement qu'il est possible de trouver un tracé ayant l'avantage de desservir facilement et très économiquement ces trois directions.

Les péniches de grand tonnage qui exploitent les canaux ne pourraient pas s'accommoder de la navigation maritime de la Dordogne et de la Garonne en doublant le bec d'Ambez. Il faut donc ou transborder à Libourne dans un bassin à flot qui coûterait 5 millions de francs, ou prolonger le canal jusqu'à la Garonne à Lormont, ce qui entraîne une dépense de 12 millions de francs. Cette dernière solution est préférable ; on ne peut admettre que les barques fréquentant le canal ne puissent pas arriver à Bordeaux ou partir de Bordeaux.

Les études faites ont comporté trois directions générales, aboutissant : la première à Candes sur la basse Loire, la seconde au canal de Berry près Bourges, et la troisième au même canal près Montluçon. Elles ont amené à reconnaître que, si l'on adoptait le premier tracé, il faudrait passer par Pliboux ; que le second devait passer par Confolens, et aboutir à Saint-Amand ; enfin que le troisième passerait à Angoulême et finirait à Montluçon.

Le tracé aboutissant à Montluçon est absolument inférieur à celui aboutissant à Saint-Amand.

Il comporte un excédant de dépense de 66.600.000 francs, et un excédant de charges annuelles pour le Trésor de 2.809.018 francs, en tenant compte de l'intérêt à 3,75 p. 0/0 du capital de construction et des frais d'entretien.

Les deux tracés ont à peu près les mêmes longueurs réelles sur les trois directions nord, nord-est et est en partant de Bor-

deaux et de Rochefort. Mais, en partant de la Rochelle, le tracé vers Montluçon présente un excédent de longueur de 90 kilomètres. Ce ne sont pas ces longueurs qu'il faut comparer pratiquement, comme l'a fait le conseil général de la Seine ; ce sont les longueurs virtuelles tenant compte des hauteurs franchies, ou du nombre des écluses. Au point de vue de ces longueurs, le tracé de Montluçon est très inférieur. Il est plus long dans toutes les directions : de 283 kilomètres en partant de Bordeaux et de Rochefort, et de 393 kilomètres en partant de la Rochelle. Ces excédents de longueur résultent de la donnée admise, que le passage d'une écluse correspond au parcours de $1^k,25$ de canal. Mais cette donnée résulte d'expériences peu nombreuses, contredites par d'autres ; elle est trop élevée et il convient d'adopter 1 kilomètre, comme on l'a fait pour les canaux projetés du Nord à Paris. Cette réduction ne modifie pas sensiblement les résultats indiqués ci-dessus ; elle diminue l'excédant de 56 kilomètres en partant de Bordeaux. Cette différence devrait d'ailleurs être réduite à 40 kilomètres si l'on tenait compte des difficultés de la marche dans les passages à une seule voie, difficultés qui amènent à tripler la longueur des tunnels et à doubler celle des ponts canaux.

De plus, le tracé vers Montluçon a une autre cause d'infériorité : la plus grande altitude à laquelle il s'élève ($516^m,30$ au lieu de 182 mètres) le soumet nécessairement à de plus longs chômages par les glaces. On trouve que, sur le tracé vers Montluçon, le fret total subira les augmentations suivantes : vers le nord, 3 fr. 63 cent., 3 fr. 68 cent. et 4 fr. 78 cent. pour les points extrêmes de Bordeaux, Rochefort et la Rochelle, soit une moyenne géométrique de 3 fr. 80 cent. ; vers le nord-est et l'est 3 fr. 48 cent., 3 fr. 54 cent., 4 fr. 64 cent. pour les mêmes points extrêmes, soit une moyenne de 3 fr. 65 cent. La moyenne générale de cet excédent est de 3 fr. 72 cent. dans toutes les directions, les frets totaux variant sur la ligne de Saint-Amand de 8 fr. 79 cent. à 10 fr. 70 cent.

Ces résultats montrent que les intérêts financiers et commerciaux doivent faire exclure le tracé vers Montluçon.

La comparaison du tracé vers Saint-Amand avec celui vers Candes ne donne pas de résultats aussi tranchés.

Le tracé vers Candes procure une économie de 71.400.000 francs ; mais il ne pourrait remplir sa destination qu'en exécutant immédiatement la construction d'un canal latéral à la Loire en amont de Port-Boulet et les travaux d'amélioration du canal de Berry entre Fontblisse et Noyers, et du Cher canalisé entre Noyers et Saint-Avertin. Ces travaux, qui deviendraient de première urgence, sont évalués à 103 millions de francs.

Dans la direction du nord, le tracé vers Candes présente pour le prix du fret une très légère infériorité de 11 centimes pour le point extrême de Bordeaux, et une supériorité de 72 et 79 centimes pour les points extrêmes de Rochefort et la Rochelle. En définitive, il reste en moyenne une réduction de fret de 9 centimes en faveur de ce tracé. On peut dire que, dans la direction du nord, les deux tracés sont équivalents.

Mais il n'en est pas de même dans les directions nord-est et est. Le tracé vers Candes présente, en longueurs virtuelles, des allongements de 293, 210 et 203 kilomètres, et, pour les prix du fret de la tonne, des augmentations de 2 fr. 93 cent., 2 fr. 10 cent. et 2 fr. 03 cent. pour les points extrêmes de Bordeaux, Rochefort et la Rochelle.

En considérant l'ensemble des directions et des points extrêmes, le tracé vers Candes affecte le prix du fret d'une augmentation moyenne de 1 fr. 32 cent.

Le tracé vers Candes ne remplit pas le but qu'a voulu atteindre le législateur. Il est absolument impuissant à donner satisfaction à la circulation vers le centre, le nord-est et l'est. Il est catégoriquement repoussé par les représentants autorisés de cette circulation. Il ne servirait à rien pour le développement déjà si accentué de l'arrivage des minerais d'Espagne aux hauts-fourneaux du centre, et du retour des charbons des houillères de cette région pour remplacer sur le littoral du golfe de Gascogne les houilles anglaises par les houilles françaises. Ce double mouvement doit caractériser la voie d'eau à construire et le tracé de Saint-Amand seul peut satisfaire à cette condition.

Le tracé vers Saint-Amand avec les embranchements sur la Charente et la Sèvre-Niortaise devant occasionner une dé-

pense de 221 millions de francs, il reste à voir si à cette dépense correspondrait une utilité publique suffisante.

En partant de la répartition du tonnage entre les voies ferrées et les voies navigables du nord et de l'est, pris dans les quantités totales pour chaque nature de marchandises, on arrive à admettre les tonnages suivants : sur le canal principal, 647.286 tonnes; sur l'embranchement de Rochefort, 84.237 tonnes, et sur celui de la Rochelle, 122.641 tonnes, soit sur l'ensemble 530.426 tonnes. Ce chiffre trouve une certaine confirmation dans les mouvements à espérer des minerais de fer et des houilles. Depuis 1879, les usines métallurgiques du centre de la France reçoivent par le port de la Rochelle des minerais de fer dont les quantités, augmentant tous les ans, se sont élevées successivement à 39.000 tonnes, 65.000 tonnes, 82.000 tonnes et 118.000 tonnes. Le port de Bordeaux en a reçu, en 1881, 11.500 tonnes. Il y a là un mouvement progressif très accentué; où s'arrêtera-t-il? Évidemment il sera activé par l'ouverture d'une voie de transport économique, et il n'est pas téméraire d'admettre qu'il en passera 200.000 tonnes sur le canal. Ces 200.000 tonnes transportées des ports de Bordeaux, Rochefort et la Rochelle, doivent produire nécessairement un retour vers ces ports de 200.000 tonnes de charbons des houillères du centre, qui viendront y remplacer les houilles anglaises maîtresses des marchés de toute la région des départements centre-ouest. Ces 400.000 tonnes paraissent assurées au canal et suffisent pour justifier le tonnage énoncé plus haut de 530.000 tonnes.

L'économie annuelle sur les transports est évaluée à un revenu de 11.854.000 francs, qui, au taux de 3.75 p. 0/0, représente un capital de 316 millions de francs, bien supérieur à la dépense à faire qui serait de 221 millions. Dans une région où l'on trouve à transporter le minerai de fer, la houille, des amendements et des matériaux de construction de première qualité, une voie de transport économique doit augmenter nécessairement la matière à transporter, de manière à justifier les prévisions énoncées ci-dessus sans faire naître des craintes sérieuses pour les revenus des voies ferrées.

Le nouveau réseau comblerait une lacune regrettable, en

complétant dans le midi-ouest un grand ensemble de voies navigables qui aurait dès maintenant une grande valeur, qu'augmenterait dans l'avenir l'affranchissement du canal du Midi et du canal latéral à la Garonne.

A ces considérations sur l'utilité de l'entreprise, il faut ajouter les services que la nouvelle voie d'eau rendrait en temps de guerre, et surtout ceux que l'agriculture retirerait du volume d'eau excédant les besoins de l'alimentation, qu'on amènerait dans le canal.

L'embranchement de Port-Boulet, qui serait très avantageux pour les relations de Nantes, Angers et Saumur avec l'est de la France, pourrait à la rigueur, et surtout pour les communications avec le centre et l'est, être substitué au canal latéral à la Loire, en amont de Port-Boulet, et à certains travaux d'amélioration du canal de Berry et du Cher canalisé, qui sont portés dans la loi de classement.

Cette substitution produirait une économie de 55.900.000 francs. Mais elle soulève des questions complexes d'intérêts locaux.

L'embranchement de Limoges, qui nécessiterait une dépense considérable de 25.600.000 francs, ne pourrait avoir pour objectif que les intérêts industriels de l'importante ville de Limoges. Mais cette ville serait mal desservie par la voie d'eau. Du côté de Bordeaux, la longueur virtuelle est de 352 kilomètres, tandis que la distance par la voie ferrée n'est que de 225 kilomètres. La situation est encore plus mauvaise du côté de Saint-Amand, où ces deux longueurs sont respectivement de 373 et 205 kilomètres.

En présence de cette situation, et cet embranchement n'étant pas prévu par la loi de 1879, la dépense de 25.600.000 francs ne serait pas justifiée.

En résumé, si l'on donnait suite aux études faites, la préférence devrait être accordée au tracé partant de Libourne, passant à ou près Coutras, Livernant, Angoulême, Roumazières, Laplaud, Confolens, l'Isle-Jourdain, Argenton-sur-Creuse, Châteauroux, et aboutissant au canal de Berry à Saint-Amand-Montrond. Cette grande ligne serait complétée :

1° Par un prolongement sur Bordeaux, passant à ou près

Arveyre, Vayre, Izon, Saint-Sulpice, Saint-Loubès, et aboutissant dans la Garonne à Lormont;

2° Par un embranchement se détachant du canal principal au Querroy et aboutissant dans la Charente à Angoulême;

3° Par un second embranchement se détachant du canal principal à ou près Civray et Saint-Maixent, et aboutissant dans la Sèvre-Niortaise à ou près Niort.

B. — Les élévateurs hydrauliques.

I. — *Rapport de M. Edwin Clark sur l'accident survenu à l'ascenseur d'Anderton.* (*Traduction.*)

En 1872, le conseil d'administration de la navigation de la Weaver, sur l'inspiration de son ingénieur, M. E. L. Williams à cette époque, décida la jonction de la rivière Weaver avec le canal de Trent et Mersey à Anderton ; et, comme j'étais alors occupé de mon système de cales hydrauliques de radoub, qui a été construit aux docks Victoria à Londres, à Bombay et à Malte, je fus chargé de résoudre la question.

Quand j'eus préparé les projets, pour lesquels je pris plus tard des brevets, je chargeai un des ingénieurs sous mes ordres, M. Sidengham Duer, de l'exécution du travail et de la réception des matériaux. Les entrepreneurs qui construisirent l'ouvrage furent MM. Emmerson, Murgatroyd et Cie, constructeurs à Stockport.

Ayant appris qu'une des presses hydrauliques de l'élévateur s'était rompue en service le 18 avril 1882, je me rendis à Anderton le 6 juin avec mes associés, M. Latimer Clark et M. Standfield, et j'examinai attentivement avec eux les fontes brisées. J'étais accompagné, dans mon voyage d'investigation, par M. Lionel B. Wells, ingénieur de la navigation de la Weaver, et par MM. Martial Hans, Hector Génard et Achille de Soner, ingénieurs de l'État belge.

Les circonstances de la rupture de la presse sont relatées dans la lettre suivante de M. Wells.

Northwich, le 18 mai 1882.

Messieurs Clark, Standfield et Clark.
6. Westminster Chambers. Victoria Street, S. W.

Messieurs,

En réponse à votre lettre du 16 courant qui m'est parvenue ce matin :

Un des sas mobiles de l'élévateur d'Anderton avait été élevé au sommet de sa course et la porte de l'aqueduc[1] était partiellement ouverte quand le sas mobile tomba. En épuisant la galerie de visite, on vit qu'un côté de la presse avait éclaté. Cet accident arriva avant que la couche d'eau additionnelle de 6 pouces qui produit l'excès de poids nécessaire pour permettre la descente du sas mobile eût été introduite, et après que le sas avait fonctionné plusieurs fois dans la même journée. Autant qu'on en peut juger actuellement, l'appareil n'a reçu aucune autre avarie. Il n'y avait pas de bateau dans le sas au moment de l'accident.

A vous sincèrement, Signé : Lionel B. Wells.

Aussitôt après l'accident, M. Wells prit la résolution de soumettre la seconde presse à un essai. La première avait éclaté sous une pression de $37^k,4$ par cent. carré ; la seconde presse se rompit sous une pression des $56^k,3$ par cent. carré, et la fracture qui se produisit fut exactement semblable à celle de la première. Les détails de l'essai sont donnés dans la lettre suivante de l'ingénieur.

Northwich, le 27 mai 1882.

A Monsieur Edwin Clark.

Cher Monsieur,

J'ai tardé à répondre à votre lettre du 22 courant dans l'espoir de pouvoir vous donner quelque nouvel éclaircissement, relativement à la cause de l'accident survenu à Anderton.

1. Pont-canal métallique qui termine le dernier bief du canal de Trent et Mersey.

La seconde presse a été essayée, et elle s'est rompue sous une pression de 56^{k},3 par cent. carré, autant que l'on en puisse juger. Un poids mort de 121.920 kilogr. formé de gueuses fut placé au-dessus du chevêtre et une hauteur d'eau de 1^{m},524 fut introduite dans le sas. Au début, le sas ne renfermait qu'une hauteur d'eau de 0^{m},457, et il fut rempli graduellement. Quand la hauteur d'eau eut atteint 1^{m},219, ce qui produisait dans la presse une pression de 49^{k},2 par cent. carré, le sas tomba tout à coup.

En épuisant la galerie de visite, on constata que la garniture d'un joint de la conduite de pression s'était défaite ; on la répara et on poursuivit l'introduction de l'eau dans le sas jusqu'à ce qu'elle y eût atteint la hauteur de 1^{m},524 que l'on s'était proposé d'obtenir.

Le sas fut maintenu dans cette position pendant une minute ; après quoi, des ordres furent donnés pour mettre la machine en marche et le soulever à environ 0^{m},127 en contre-haut de sa position primitive, dans laquelle le fond du sas était à 1^{m},524 au-dessus de ses appuis, lorsque tout à coup le sas descendit.

En épuisant la galerie de visite, on constata que la virole supérieure de la seconde presse s'était fendue : la fente passait par la tubulure du tuyau d'amenée et avait environ 0^{m},006 de largeur.

Je ne puis trouver trace du moindre tassement, et le fait que les deux presses ont éclaté sur leur côté intérieur, c'est-à-dire sur le côté occidental dans l'une et sur le côté oriental dans l'autre, semblerait d'ailleurs montrer que leur rupture n'est pas due à un déplacement des presses elles-mêmes ; le métal paraît aussi être de bonne qualité ; enfin, comme il existe une valve de sûreté sur la conduite de l'accumulateur à la presse commandée par un arrêt lorsque le sas arrive au haut de sa course et que l'accumulateur fonctionnait, je ne crois pas qu'une pression supplémentaire dont vous m'aviez donné l'idée, puisse avoir été la cause du premier accident.

Je serais heureux de causer de l'affaire avec vous, soit ici, soit à Londres, si cela vous convenait.

A vous sincèrement, Signé : Lionel B. Wells.

Les cassures dans les deux presses sont semblables; elles présentent les mêmes caractères et la même position : une fente verticale part du sommet de la virole, descend sur la tubulure du tuyau d'amenée et reprend ensuite pour se prolonger jusqu'à quelques pouces au-dessous. Dans la première presse, une seconde fente part du sommet et vient rencontrer la première à son point le plus bas, en séparant ainsi un éclat angulaire du corps de la virole. Il est évident, dans l'un et dans l'autre cas, que la solution de continuité produite par la tubulure du tuyau d'amenée, a affaibli en ce point la résistance de la presse et déterminé la direction de la fracture. Les croquis ci-joints, établis d'après des photographies, montrent l'éclat de la virole de la première presse.

La rupture dans l'un et dans l'autre cas n'a pas porté sur le corps de presse proprement dit, mais sur la virole en fonte supérieure qui porte le presse-étoupes et la tubulure du tuyau d'amenée, dont le diamètre est de $0^m,127$. Cette virole est d'une forme compliquée ; elle présente de fortes nervures horizontales et verticales et des inégalités d'épaisseur. L'épaisseur de la fonte dans sa partie supérieure est de $0^m,070$; dans le voisinage de la tubulure du tuyau d'amenée, elle est de $0^m,076$; et tout à fait contre cette tubulure, elle atteint $0^m,139$. La hauteur de la virole qui s'est rompue est de $0^m,991$; elle est entourée à sa partie inférieure par une nervure extérieure faisant saillie de $0^m,457$ [1], et reliée aux parois cylindriques de la virole par des nervures verticales triangulaires. Le diamètre intérieur de la presse hydraulique est de $0^m,952$; le diamètre du plongeur est de $0^m,914$ (voir la coupe et le plan). La fonte de la pièce qui a cédé est mauvaise et défectueuse et même, en un point particulier, le constructeur avait caché quelques-uns de ses défauts, en les bouchant avec du fer. Cette pièce était en service depuis plusieurs années et elle s'est rompue sous un effort moindre que l'effort normal ordinaire, et alors que l'appareil avait déjà le même jour effectué le passage de plusieurs bateaux.

1. Cette saillie de $0^m.457$ est comptée par rapport à l'intérieur de la paroi. La saillie sur l'extérieur de la paroi n'est que de $0^m.394$.

Chaque presse est placée à l'intérieur d'un encuvement en fonte de $1^{m},676$ de diamètre, et repose au fond du puits sur un plancher en bois tendre porté lui-même par une couche de béton.

Les presses, lors de leur mise en place, avaient été descendues dans les puits à une profondeur telle que les grandes nervures circulaires des viroles supérieures étaient légèrement en contre-haut des parties supérieures des encuvements en fonte. Par suite de la compression graduelle des cales et des fondations en bois, les presses se sont enfoncées plus qu'on ne l'avait supposé, et les nervures sont, dans l'une et l'autre presse, arrivées en contact direct avec les parties supérieures des encuvements; ceux-ci n'étant malheureusement pas absolument verticaux, les nervures des viroles supérieures ne portaient que par un point et il se développait en elles des efforts de tension en vue desquels elles n'avaient pas été calculées; ces efforts étaient probablement augmentés par l'action du tuyau en fer qui réunissait les deux presses et qui était appuyé d'une manière invariable en un point intermédiaire, celui où était établi la boîte de la valve : ce tuyau agissait sur la presse à la façon d'un levier et tendait à la déformer, notamment au point où il la pénétrait et où la rupture s'est produite. Après un examen attentif de toutes les circonstances, il est certain pour moi que ce furent là les causes déterminantes de la rupture, en y joignant, pour la première presse, la mauvaise qualité de la fonte au point où cette rupture s'est produite. La seconde presse, qui était soumise aux mêmes efforts, a pu supporter une pression beaucoup plus élevée, en raison sans doute de la meilleure qualité du métal.

La disposition de la fracture dans la première presse montre qu'elle n'est pas due seulement à la pression intérieure. La fonte était très mauvaise et la nervure était écrasée et divisée à sa base en lamelles horizontales d'une manière digne de remarque, comme le montrent les croquis annexés au rapport, ce qui ne saurait être la conséquence de la pression de l'eau à l'intérieur de la presse et ne peut être attribué qu'à un effort extérieur. La fracture de la seconde presse n'était qu'une simple fente et la fonte était de bonne qualité; la cassure

dans les deux cas suit une ligne qui est évidemment celle de moindre résistance.

La résistance minima suivant cette ligne est due à la grande section de la tubulure du tuyau d'amenée, qui détruit nécessairement la continuité de la circonférence et produit un effort supplémentaire considérable sur le métal qui entoure l'orifice, en même temps que la masse de métal placée en ce point, pour augmenter la résistance, se trouve affaiblie par suite de la forte contraction qu'elle a subie à son intérieur lors du coulage de la pièce.

Il ne peut y avoir en fait de doute sur ce point, que l'accident a montré une cause de danger dans l'assemblage de grands tuyaux avec les parois latérales des presses hydrauliques, assemblage qui n'avait pas jusqu'ici suffisamment attiré l'attention des constructeurs. L'habitude nous avait conduit à augmenter constamment les dimensions de ces tubulures et à nous borner à ajouter tout autour d'elles une forte épaisseur de métal destinée à rendre cette partie, qui doit résister à un effort supplémentaire, beaucoup plus forte que le reste du corps de la presse; mais l'inégale contraction, lors du coulage, de l'épaisseur de métal ajoutée, annihile une grande partie de l'augmentation de résistance qu'elle procure; et un examen attentif de l'effort supplémentaire que supporte la presse, par suite de l'absence d'une si grande surface de sa paroi, ainsi que de l'effort également supplémentaire qui se produit à l'intérieur même du tuyau d'amenée, montre la nécessité d'une étude très minutieuse de la disposition à donner au métal en ce point. Cette remarque s'applique plus spécialement à la fonte; avec un métal tant soit peu élastique comme le fer ou l'acier, une légère déformation de la matière assurerait la transmission de l'effort au renfort métallique ajouté à l'extérieur, tandis que, avec la fonte, il y a danger de rupture à l'angle intérieur de la tubulure, où s'exerce le plus grand effort, avant que le renfort extérieur n'ait contribué, pour une part notable, à la résistance à cet effort; et la possibilité d'une inégale contraction, lors du coulage, vient encore augmenter les chances de rupture en ce point, surtout si la fonte est de mauvaise qualité.

Dans le cas présent, il n'est pas douteux que ces tubulures étaient plus faibles que les corps mêmes des presses, mais je ne pense pas que cette circonstance ait été seule la cause de la rupture ; j'estime que la cause immédiate a été l'effort supplémentaire développé par l'affaissement des planches de fondation en bois, et par le fait que les presses se sont ainsi trouvées partiellement supportées et sur la solide fondation de la boîte de la valve par l'intermédiaire des tuyaux d'amenée, et sur les sommets des encuvements par l'intermédiaire des nervures des viroles supérieures ; et je suis d'avis que, si cet affaissement ne s'était pas produit, les presses auraient continué leur service sans interruption, d'une manière satisfaisante.

Le manque de force au point d'assemblage du tuyau une fois établi, il devient facile d'y remédier par de nombreux moyens.

L'idée d'employer en ce point le fer ou l'acier vient naturellement à l'esprit, et il est également facile de réduire la section des orifices en établissant deux ou plusieurs tuyaux de diamètre moindre ; une meilleure disposition de métal de la tubulure peut être également réalisée, et je prépare en ce moment une étude dans ce sens.

M. Lionel B. Wells, l'ingénieur de la navigation, se propose de soumettre les corps mêmes des presses à de très hautes pressions d'essai, auxquelles elles ont déjà, du reste, été soumises lors de la réception à l'usine.

En ce qui concerne le mode d'action des efforts sur le métal des presses, on peut remarquer qu'il est des plus directs et des plus simples dans les grandes presses, où l'épaisseur du métal n'est qu'une petite fraction du diamètre : la pression intérieure produit une tension directe du métal suivant la direction des tangentes à chacune des extrémités d'un diamètre quelconque, et cette tension se répartit dans les grandes presses sur toute l'épaisseur du métal qui forme la paroi. L'effort de tension par centimètre carré varie évidemment en raison directe de la pression intérieure et du diamètre de la presse, et en raison inverse de la surface du métal qui tend à être déchiré, c'est-à-dire du double de l'épaisseur de la paroi.

Ainsi, dans une section quelconque de la presse, si on désigne par :

S la tension du métal par cent. carré,
p la pression de l'eau par cent. carré,
t l'épaisseur de la paroi,
d le diamètre,

on a : $$S = \frac{pd}{2t} \quad \text{et} \quad p = 2\frac{St}{d}.$$

La pression de l'eau, quand la presse d'Anderton a éclaté, était de $37^{k},4$ par cent. carré ; le diamètre est de $0^{m},952$ et l'épaisseur de $0^{m},0635$.

D'où $$S = \frac{37^{k},4 \times 95,2}{2 \times 6,35} = 280^{kg},4 \text{ par cmq.}$$

Lorsque la seconde presse a été essayée, la pression de l'eau était de $56^{k},3$ par cent. carré et la tension du métal : $S = 421^{k},8$ par cent. carré. La résistance moyenne de la fonte ordinaire à la tension est de 1.102 kilogr. par cent. carré et la tension à laquelle on la fait habituellement travailler en pratique est de 472 kilogr. par cent. carré ; ainsi donc, si nous faisons abstraction des tubulures, les presses étaient d'une force largement suffisante.

La pression la plus élevée que les presses eussent supportée, si elles avaient été de simples cylindres en fonte de bonne qualité, est :

$$p = \frac{2 \times 6,35 \times 1102^{kg}}{95,2} = 147^{kg} \text{ par cmq.}$$

Au lieu de cela, la pression de l'eau n'a atteint que $56^{k},3$, par cent. carré; mais les presses n'étaient pas de simples cylindres en fonte : les viroles supérieures avaient une forme compliquée ; elles étaient percées d'un orifice de $0^{m},127$ de diamètre ; la fonte était de mauvaise qualité dans la virole de la première presse ; et, dans toutes les deux, elle était soumise à un effort oblique irrésistible par suite de la descente des nervures sur les encuvements rigides, effort en vue duquel elle n'avait été nullement calculée.

Je donne en appendice une table des pressions et des efforts de tension que supportent diverses presses que j'ai construites et dont quelques-unes sont en service depuis un grand nombre d'années, afin de montrer combien nous avons diminué la pression de l'eau dans les presses destinées aux ascenseurs, où le piston travaille en même temps comme une colonne portante.

Dans une grande presse, l'effort tangentiel sur le métal est sensiblement direct et il importe de remarquer que, en supposant qu'il le soit rigoureusement, le poids de métal de la presse nécessaire pour soulever un poids donné, demeure le même théoriquement, quel que soit le diamètre que l'on choisisse. La pression de l'eau dans les presses hydrauliques a toujours été invariablement limitée à 602 kilogr. par cent. carré. On a constaté que, au delà d'une certaine limite, l'augmentation de l'épaisseur du métal n'ajoute plus rien à la résistance d'une presse en fonte ; si l'épaisseur dépasse $0^m,23$ à $0^m,25$, une fracture, sous des pressions excessives, se produit à l'intérieur et s'étend graduellement vers l'extérieur; de là, la nécessité d'employer le fer pour de très hautes pressions. Dans ce cas, quoique le diamètre intérieur augmente d'abord, le diamètre extérieur demeure constant et, en augmentant simplement le piston de temps en temps, on atteint une limite à laquelle les presses travaillent, même pendant plusieurs années, sous une pression intérieure de 12.038 kilogr. par cent. carré. (Voir l'ouvrage sur les ponts de Britannia et de Convay, page 303.)

Le métal provenant des gueuses de Lowmoor donne une grande résistance ; on s'en sert à Manchester où l'on emploie, pour comprimer le coton, un très grand nombre de presses de $0^m,178$ d'épaisseur recevant des plongeurs de $0^m,381$ de diamètre.

Aux usines de la Compagnie d'arrimage de Manchester, une presse de $0^m,508$ de diamètre, munie de frettes en fer forgé, est en service continu depuis quatorze ans sous une pression de 315 kilogr. par cent. carré. M. Wells a trouvé à Manchester deux presses en acier comprimé de Withworth, ayant $0^m,762$ de diamètre et $0^m,127$ d'épaisseur, qui sont en service depuis dix ans sous une pression de 472 kilogr. par cent.

carré et qui sont garanties pour une pression de 1.575 kilogr. par cent. carré. Toutes les presses de la cale de radoub de Victoria ont été éprouvées, sans qu'il se produisît une seule fente, sous une pression de 490 kilogr. par cent. carré.

Mais les presses en fonte sont maintenant généralement remplacées par les presses en acier. Les presses en acier sont fabriquées en grand à Sheffield. Des presses de 6m,096 de longueur, de 0m,076 d'épaisseur, admettant des plongeurs de 0m,457 de diamètre, sont garanties pour une pression de 1.260 kilogr. par cent. carré, pression qui correspond à une tension de l'acier de 4.003 kilogr. par cent. carré; mais, dans tous ces cas, on a toujours employé de petits tuyaux d'amenée.

Le résultat de mon expérience et de mes recherches est que je conserve la confiance que la rupture d'une presse hydraulique bien proportionnée, et faite en métal de bonne qualité, qu'elle soit en acier ou en fonte, est aussi peu à craindre que celle de n'importe quelle construction mécanique faite avec le même métal.

J'ai soumis ce rapport à M. Wells, et il est entièrement de mon avis en ce qui concerne les causes de la rupture, bien qu'il attache moins d'importance que moi à la qualité du métal, qui était très bon dans la seconde presse. Il m'informe qu'il est certain que la large nervure de la seconde presse portait lourdement sur l'encuvement extérieur, au point où se produisit la fracture lors de l'essai.

Il a fait un essai avec une virole en fonte qui n'avait point de nervures verticales, et il m'informe que cet essai a pleinement confirmé mon opinion relativement au rôle de la tubulure. L'épaisseur de la paroi était de 0m,073[1], et la presse soutint une pression d'eau maxima de 200 kilogr. par cent. carré; la fente passa encore par la tubulure.

1. M. Sidengham Duer, qui a assisté à l'essai, rectifie ce chiffre dans une lettre à M. Martial Hans : l'épaisseur de la paroi n'était que de 0m.070.

Appendice.

EMPLACEMENT.	DIAMÈTRE du plongeur.	ÉPAISSEUR du métal de la presse, t	DIAMÈTRE intérieur de la presse, d	PRESSION de l'eau dans la presse en kg. par cmq. p	EFFORT de tension du métal en kg par cmq $S=\frac{p.d.}{2t}$	COURSE en mètres.
	m.	m.	m.	kg.	kg.	m.
Britannia	0,508	0,254	0,559	574	630	1,828
Conway	0,457	0,222	0,508	389	441	1,828
Victoria.....	0,254	0,127	0,282	345	365	7,610
Bombay.....	0,355	0,114	0,393	213	365	9,294
Malte.....	0,310	0,114	0,368	165	266	9,235
Anderton	0,914	0,063	0,952	37	280	15,331
Fontinettes.....	2,000	0,050 (Acier.)	2,037	26	537 (Acier.)	13,130

II. — *Note de M. Gustave Cadart, ingénieur des ponts et chaussées, sur le même accident.*

Le 18 avril 1882, l'ascenseur hydraulique d'Anderton, sur la rivière Weaver, le seul ascenseur hydraulique pour bateaux construit jusqu'ici, était partiellement détruit par un grave accident: la virole supérieure d'une des presses hydrauliques s'étant déchirée longitudinalement, le sas correspondant était tombé à fond.

Cet accident, survenu à un moment où tous les grands États de l'Europe se proposent de construire, pour les bateaux jaugeant 300 tonnes, de grands élévateurs hydrauliques reposant sur le même principe que celui d'Anderton, serait de nature, s'il n'était promptement expliqué et si l'existence d'un vice de conception ou de construction susceptible d'avoir produit l'accident n'était clairement démontrée, à jeter le doute dans l'esprit des ingénieurs et à retarder, pendant longtemps encore, l'adoption définitive d'un appareil qui peut faire réaliser

d'immenses progrès à la navigation intérieure. L'accident du 18 avril eût été dès lors extrêmement regrettable, car, au point où en sont parvenues aujourd'hui les études comparatives des divers systèmes d'appareils mécaniques, susceptibles de remplacer les escaliers d'écluses, il est déjà à peu près établi que les élévateurs hydrauliques sont, sauf des cas spéciaux, les seuls de ces systèmes qui puissent être définitivement adoptés, aucun des autres ne remplissant les conditions de simplicité, d'économie et de facile entretien qu'un appareil de ce genre doit nécessairement présenter.

Nous espérons pouvoir démontrer par cette courte note que, fort heureusement, il n'y a rien dans l'accident dont nous parlons qui doive faire naître des inquiétudes pour l'avenir, que cet accident est dû à un vice radical qui, grâce à l'événement lui-même, est aujourd'hui connu, et qu'il sera facile d'éviter dans les constructions ultérieures.

M. Edwin Clark, l'ingénieur anglais qui revendique l'idée de l'ingénieuse combinaison du système d'élévateur construit à Anderton, vient de publier un rapport dans lequel toutes les circonstances de l'accident du 18 avril sont nettement exposées et habilement rapprochées des principaux défauts de l'appareil. Nous en rappelons ici les points les plus importants :

Les presses d'Anderton sont des cylindres en fonte formés de viroles superposées ayant $0^m,952$ de diamètre intérieur et $0^m,0635$ d'épaisseur ; elles admettent des plongeurs de $0^m,914$ de diamètre dont la course est de $15^m,331$. Les presses sont renfermées dans des puits dont les parois sont formées par des encuvements en fonte de $1^m,676$ de diamètre, et elles reposent, au fond de ces puits, sur des planchers en bois tendre portés eux-mêmes par des couches de béton. La virole supérieure de chacune des presses, qui porte le presse-étoupes et la tubulure du tuyau d'accouplement, dont le diamètre intérieur est de $0^m,127$, est d'une forme très compliquée ; cette virole, dont la hauteur est de $0^m,991$, porte à sa partie inférieure une nervure horizontale extérieure annulaire, sorte de large bride, dont le diamètre extérieur est de $1^m,867$ et la saillie sur la paroi extérieure de la presse de $0^m,394$; elle porte également 8 nervures verticales extérieures, en forme d'ailerons triangulaires, dont

ommet est au haut de la virole et dont la base s'appuie sur grande bride horizontale ; le but de ces ailerons est de re- la bride horizontale aux parois de la virole.

Les presses, lors de leur montage, ont été descendues dans puits à une profondeur telle que les grandes nervures cir- aires horizontales des viroles supérieures se trouvaient èrement en contre-haut des bords supérieurs des encuve- nts des puits ; mais, par suite du tassement graduel de la dation en bois tendre, ces nervures sont arrivées peu à peu contact avec les bords des encuvements et, comme malheu- sement ces encuvements n'étaient pas rigoureusement ticaux et que, par suite, leurs bords supérieurs n'étaient tout à fait horizontaux, chacune des nervures horizontales viroles supérieures n'a porté sur eux que par un point ; les sses ont été alors portées d'une façon fort singulière et les rvures des viroles supérieures ont nécessairement eu à sup- rter des efforts sur lesquels on n'avait jamais compté.

Ce tassement de la fondation en bois tendre a eu encore e autre funeste conséquence : le tuyau d'accouplement, qui nit les viroles supérieures des deux presses, était assujetti sa fondation d'une manière invariable en son milieu, au nt où il recevait la valve de manœuvre. Les deux moitiés ce tuyau, dont le milieu n'avait pu descendre lors du tas- nent des presses, agissaient à la manière de leviers sur les ties des parois des viroles supérieures entourant les orifices pénétration du tuyau, et devaient fatiguer singulièrement nétal de ces parties.

Lors de l'accident du 18 avril 1882, la virole supérieure d'une presses a seule éclaté : un segment angulaire a été séparé corps de la virole. Une fente verticale partait du sommet, cendait sur la tubulure du tuyau d'accouplement et repre- au-dessous pour descendre jusqu'au-dessus de la grande vure horizontale ; une seconde fente partait également du met et venait rejoindre la première à son point le plus bas. outre, la grande nervure horizontale paraissait écrasée et, n point de sa partie inférieure, elle était effeuillée, divisée lamelles horizontales. Enfin, on a reconnu que la fonte de e virole était de mauvaise qualité et présentait de nombreux

défauts. La pression de l'eau dans la presse au moment de l'accident était de $37^{k},4$ par centimètre carré et le travail à l'extension du métal des parois n'aurait dû être dans ces conditions, d'après la formule ordinaire des chaudières, que de $2^{k},804$ par millimètre carré.

Deux épreuves furent faites après l'accident par M. Lionel B. Wells, ingénieur de la navigation de la Weaver.

La première consista à charger le second sas de l'ascenseur pour voir sous quelle pression et de quelle manière éclaterait la seconde presse. Ce fut encore la virole supérieure de la presse qui céda : une fente verticale unique d'environ $0^{m},006$ de largeur se produisit ; elle partait du sommet, descendait sur la tubulure du tuyau d'accouplement et reprenait ensuite pour s'arrêter à quelques pouces au-dessous. On constata que la fonte de cette seconde virole était de bonne qualité. La pression de l'eau dans la presse, au moment de la rupture, était de $56^{k},3$ par centimètre carré ; le travail à l'extension du métal des parois n'aurait dû être, dans ces conditions, que de $4^{k},218$ par millimètre carré.

La seconde épreuve de M. Wells consista à rompre une virole nouvelle en fonte de même diamètre, munie également d'une tubulure de $0^{m},127$ de diamètre, mais dépourvue de nervures verticales. Il se produisit encore une fente verticale unique passant par la tubulure ; mais la rupture n'arriva cette fois que sous une pression de 200 kilogrammes par centimètre carré qui correspond (l'épaisseur de la virole d'épreuve étant de $0^{m},070$) à un travail de la fonte à l'extension de $13^{k},600$ par millimètre carré.

M. Clark attribue l'accident du 18 avril aux quatre causes suivantes :

1° Affaiblissement produit dans la virole supérieure par la tubulure du tuyau d'accouplement ;

2° Mauvaise qualité de la fonte de la virole ;

3° Efforts perturbateurs et imprévus qui se sont développés dans le métal de la virole lorsque, à la suite du tassement de la fondation en bois tendre du fond de la presse, la grande nervure horizontale de la virole est venue reposer par un point seulement sur le bord supérieur de l'encuvement du puits ;

4° Efforts perturbateurs et imprévus qui se sont développés dans le métal de la virole entourant l'orifice de pénétration du tuyau d'accouplement lorsque, à la suite du tassement de la fondation du fond de la presse, ce tuyau, soutenu d'une façon invariable en son milieu, a agi à la façon d'un levier sur la partie de la paroi de la virole environnant la tubulure.

Mais M. Clark considère que les deux dernières de ces causes, conséquences toutes deux du tassement de la fondation en bois tendre du fond de la presse, sont les causes immédiates de l'accident ; il déclare, de plus, qu'il est convaincu que les presses auraient continué leur service régulier si ce tassement de la fondation ne s'était pas produit.

Nous admettons les quatre causes indiquées par M. Edwin Clark et, avec lui, nous considérons les deux dernières comme prépondérantes. Nous attachons même beaucoup moins d'importance que ne le fait M. Clark aux deux premières causes, que nous considérons comme tout à fait accessoires.

En ce qui concerne la première cause, en effet, la bonne qualité du métal de la virole supérieure de la seconde presse ne l'a pas empêchée de se rompre lorsque la fonte semblait n'être soumise qu'à un effort de tension de $4^k,218$ par millimètre carré, bien inférieur à l'effort ordinaire de rupture.

Et, en ce qui concerne la seconde cause, on ne saurait dire que la tubulure de $0^m,127$ de diamètre, renforcée d'ailleurs à son pourtour, affaiblisse notablement la virole, puisque la virole neuve, sur laquelle a porté la seconde épreuve de M. Wells, renfermait une tubulure exactement semblable et ne s'est rompue que sous une pression faisant travailler la fonte à l'extension à 13 kilog. 6 par millimètre carré, c'est-à-dire à un effort de tension sous lequel se rompent les meilleures fontes.

Sans doute, lorsque la rupture se produit, la fente passe par la tubulure, qui détermine la génératrice de moindre résistance du cylindre ; mais on n'est nullement fondé à en conclure que cette tubulure diminue sensiblement l'effort nécessaire pour produire la rupture.

Nous ne retenons donc que les deux dernières causes indiquées par M. Edwin Clark. Si elles étaient les seules,

traction de ce guidage et nous allons calculer quels efforts avaient à supporter les presse-étoupes.

Considérons d'abord le sas au haut de sa course, au moment où les portes d'amont sont ouvertes et où la proue d'un bateau entrant dans le sas est parvenue au milieu de sa longueur. Deux forces détruisent l'équilibre du sas : la poussée Q de l'eau sur la porte aval et le poids P de la surélévation inévitable de l'eau dans la moitié aval du sas, produite par le mouvement du bateau. Le plongeur est guidé aux deux niveaux M et N par les deux presse-étoupes superposés ; il s'appuie du côté aval sur le presse-étoupes M et du côté amont sur le presse-étoupes N. Ces deux presse-étoupes exercent sur lui des réactions inégales et de directions contraires F et f, et il y a équilibre entre les six forces Q, P, F, f, le poids normal du sas plein et la poussée de l'eau sur le fond du plongeur. Si nous désignons par l la longueur du sas entre les portes, par h la hauteur du point d'application de la poussée Q au-dessus du niveau M et par a la distance verticale comprise entre les deux niveaux M et N, nous aurons, en projetant sur une horizontale et en prenant les moments par rapport au point A (fig. p. 532), et en remarquant que le poids normal du sas plein et la poussée de l'eau sur le fond du plongeur donnent une projection horizontale et un moment nuls :

$$F = f + Q$$

et $$af = Qh + P.\frac{l}{4}$$

d'où $$f = \frac{Qh + P.\frac{l}{4}}{a}.$$

A Anderton, on a sensiblement :

$$l = 22^{m},86.$$
$$h = 18^{m},30.$$
$$a = 0^{m},75.$$

La largeur du sas entre les bordés latéraux est de $4^{m},57$; le mouillage, lorsque le sas renferme la surcharge, est de $1^{m},52$. Supposons que la surélévation à l'avant d'un bateau soit de $0^{m},125$, la hauteur d'eau contre la porte aval sera $1^{m},52 + 0,125 = 1^{m},645$, et l'on aura :

$$P = 1^T \times \frac{22,86}{2} \times 4,57 \times 0,125 = 6^T,53$$

$$Q = 1^T \times 4,57 \times \frac{\overline{1,645}^2}{2} = 6^T,18$$

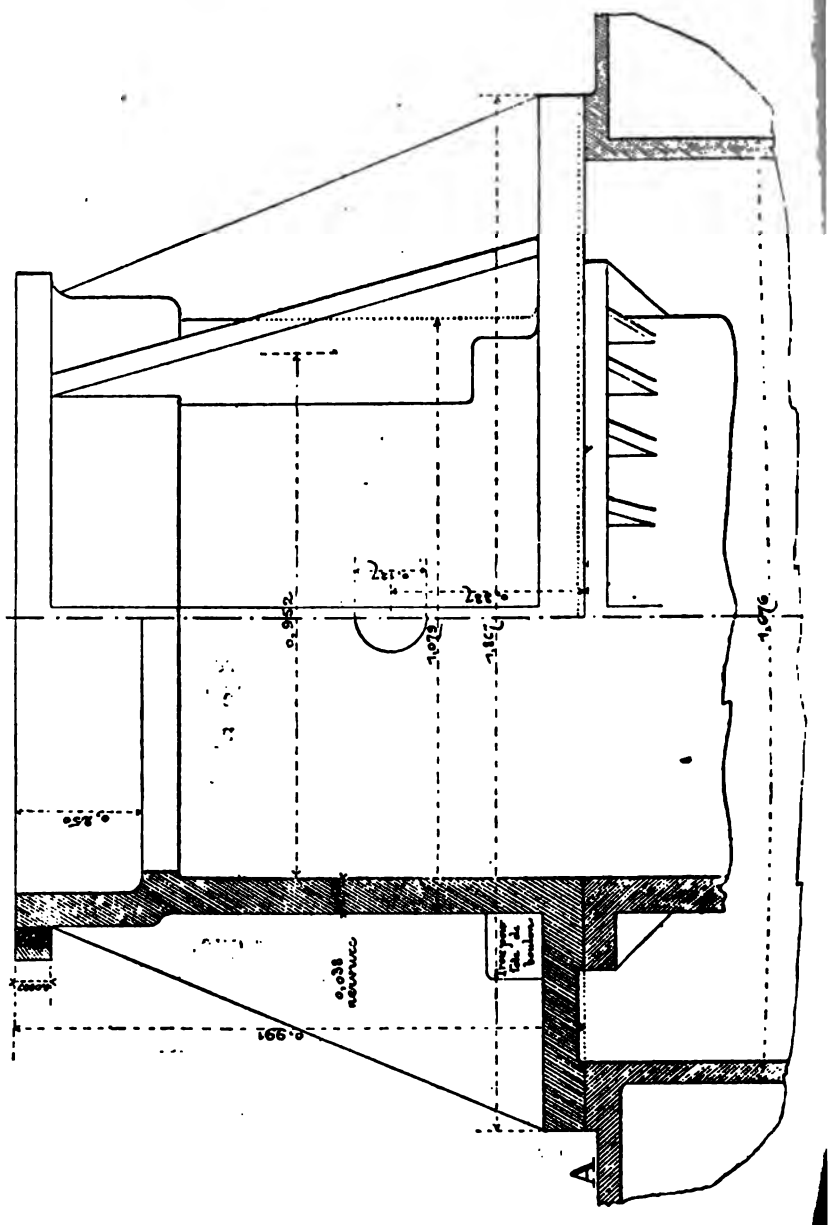
$$f = \frac{6^T,18 \times 18,30 + 6,53 \times \frac{22,86}{4}}{0,75} = 200^T,55, \text{ soit 200 tonnes.}$$

Si nous n'avions pas supposé l'entrée d'un bateau et par suite une surélévation dans la moitié aval du sas, la force f, sous la seule action de la poussée sur la porte aval qui se produit à chaque opération, dès que l'espace nuisible compris entre les portes du bief et du sas est rempli d'eau et qui subsiste jusqu'à la vidange de cet espace nuisible après la fermeture des portes, eût été de : $f = \frac{1^T \times 4,57 \times \frac{\overline{1,52}^2}{2} \times 18,30}{0,75} = 128^T,81$, soit 130 tonnes.

Considérons en second lieu le sas au haut de sa course pris par le travers par un vent violent, que nous supposerons exercer une action de 150 kilog. par mètre carré. La surface latérale du sas étant très sensiblement de 60 mètres carrés, la résultante de l'action du vent sera une force de 9 tonnes, et la réaction f' que devra fournir le presse-étoupes inférieur N sera :

$$f' = \frac{9^T \times 18,30}{0,75} = 219^T,60, \text{ soit 220 tonnes.}$$

Ainsi, le bord supérieur de la virole supérieure de la presse recevait, dans sa partie tournée vers l'amont, un effort horizontal de 130 tonnes pendant tout le temps que, le sas étant au haut de sa course, les portes amont étaient ouvertes ou, pour parler plus exactement, depuis le moment où on remplissait l'espace nuisible jusqu'à celui où on le vidait; cet effort augmentait lorsqu'un bateau entrait dans le sas, et il pouvait atteindre 200 tonnes. De plus, ce même bord supérieur de la virole supérieure de la presse recevait de temps en temps, sous l'action de vents violents, dans l'une ou dans l'autre de ses parties tournées vers les côtés du sas, des efforts pouvant atteindre 220 tonnes.


A

Rendons-nous compte du travail supplémentaire à l'extension que devait supporter le métal, lorsqu'un effort horizontal de 200 tonnes poussait vers l'extérieur le côté tourné vers l'amont de la partie supérieure de la virole. L'effort de 200 tonnes tend à soulever le côté aval de la presse pour la faire tourner autour du point A; mais, comme elle ne peut obéir en raison de son poids et de la pression de l'eau qui s'exerce sur le fond de la presse, le métal tend à se déchirer à la partie supérieure de la virole, suivant les deux génératrices qui sont situées dans le plan de la section transversale du sas passant par l'axe de la presse, et dont l'une est précisément la génératrice interrompue par la tubulure du tuyau d'accouplement. Supposons que la partie supérieure de la virole qui résiste à cette tendance au déchirement soit celle qui se trouve au-dessus de la nervure horizontale intérieure, qui limite inférieurement le presse-étoupes; la hauteur de cette partie est d'environ $0^{m},25$.

L'épaisseur de la paroi étant d'ailleurs de $0^{m},0635$, le travail supplémentaire à l'extension du métal, suivant les deux génératrices où le déchirement tend à se produire, est de

$$\frac{200.000^{kg}}{2 \times 63,5 \times 250} = 6^{kg},3 \text{ par millim. carré;}$$

de sorte que le travail total total de la fonte à l'extension suivant ces génératrices, dans la partie supérieure de la virole, au lieu de n'être, comme partout ailleurs, que de $2^{kg},8$ par millimètre carré, est de $2^{kg}8 + 6^{kg},3 = 9^{kg},1$ par millimètre carré. L'effort de 130 tonnes, qui se produit lorsque les portes amont sont simplement ouvertes et qu'aucun bateau n'entre dans le sas, donne lieu à un travail par millimètre carré de $2^{kg},8 + \frac{130.000^{kg}}{2 \times 63,5 \times 250} = 2^{kg},8 + 4^{kg},1 = 6^{kg},9$. Il n'est point surprenant que de la fonte de médiocre qualité qui, pendant six ans, a été soumise plusieurs fois chaque jour à des efforts atteignant 9 kilogr. par mill. carré, très voisins de celui de la rupture, ait fini par céder un jour à un moment où son effort de tension passait brusquement de $2^{kg},8$ à $6^{kg},9$; car il faut bien remarquer que l'accident s'est produit au moment où on commençait à lever la porte du bief, lorsque, par conséquent, l'es-

pace nuisible venait d'être rempli, et que la poussée de l'eau du sas sur la porte amont venait d'être supprimée et cessait d'équilibrer la poussée sur la porte aval.

La cause nouvelle de l'accident que nous venons d'exposer n'est pas seulement indiquée par la logique et par l'étude attentive des forces qui agissent sur le système ; elle est confirmée par toutes les circonstances de l'accident : par le moment auquel il s'est produit aussi bien que par la disposition de la cassure qui, comme l'a constaté M. Clark, se compose de deux fentes partant de la partie supérieure de la virole et venant mourir à sa base. La déchirure a certainement commencé par le haut de la virole.

Elle est la seule, de toutes les causes qui ont été données, qui soit justifiée par la phase de l'opération pendant laquelle l'accident s'est produit et qui montre que le moment où on remplissait l'espace nuisible était à Anderton le plus dangereux de tous, puisque c'était celui où le métal de la partie supérieure de la virole supérieure de la presse subissait une brusque augmentation de tension[1]. Aussi, n'hésitons-nous pas à la considérer comme la cause prépondérante de l'accident.

Dans les ascenseurs qui sont aujourd'hui en cours d'exécution en France (Fontinettes) et en Belgique, le sas descend dans une cale sèche et non dans l'eau ; il n'y a donc qu'un seul presse-étoupes. Mais la suppression de la superposition de deux presse-étoupes n'est pas suffisante pour prévenir le danger que nous venons de signaler ; il faut encore éviter que le plongeur ne soit guidé au sommet de la presse au moyen d'un rétrécissement de la virole supérieure, qui ne laisserait à ce plongeur qu'un jeu insignifiant et qui réduirait l'amplitude d'oscillation du sas dans des proportions suffisantes pour l'empêcher de s'appuyer sur le guidage. Pour se mettre à l'abri de tout danger, il faut faire en sorte que le plongeur ne soit guidé qu'en un seul point de sa hauteur, au droit d'un presse-étoupes unique, afin que le système invariable du sas et du plongeur

1. Sa tension devenait plus grande encore lors de l'entrée d'un bateau ; mais l'augmentation de tension était alors graduelle tandis que, au moment du remplissage de l'espace nuisible, elle était brusque, et par conséquent plus dangereuse.

puisse osciller autour de ce point et aller s'appuyer sur le guidage qui, de son côté, ne doit laisser au sas qu'un jeu aussi faible que possible. Mais, cette condition une fois remplie, la sécurité sera complète : en effet, l'effet de la poussée de l'eau sur la porte aval et l'action du vent seront directement annulés par les réactions du guidage ; et, quant au poids de l'eau refoulée devant le bateau entrant, il donnera naissance à deux réactions formant couple, l'une provenant de la partie supérieure du guidage et l'autre du presse-étoupes ; mais, comme le bras de levier de ce couple est considérable, les forces qui le composeront seront fort petites, et le moindre contreventement horizontal de la virole supérieure de la presse suffira pour assurer la transmission de la réaction aux parois du puits.

Nous résumons, en terminant, les perfectionnements qu'il y a lieu d'apporter aux ascenseurs hydrauliques du système de celui d'Anderton pour les mettre à l'abri de tout accident :

1° Suppression de l'immersion dans le bief aval et, par conséquent, de la superposition de deux presse-étoupes ;

2° Suppression de tout rétrécissement de la presse au-dessous du presse-étoupes, de nature à guider le plongeur sur une longueur appréciable ;

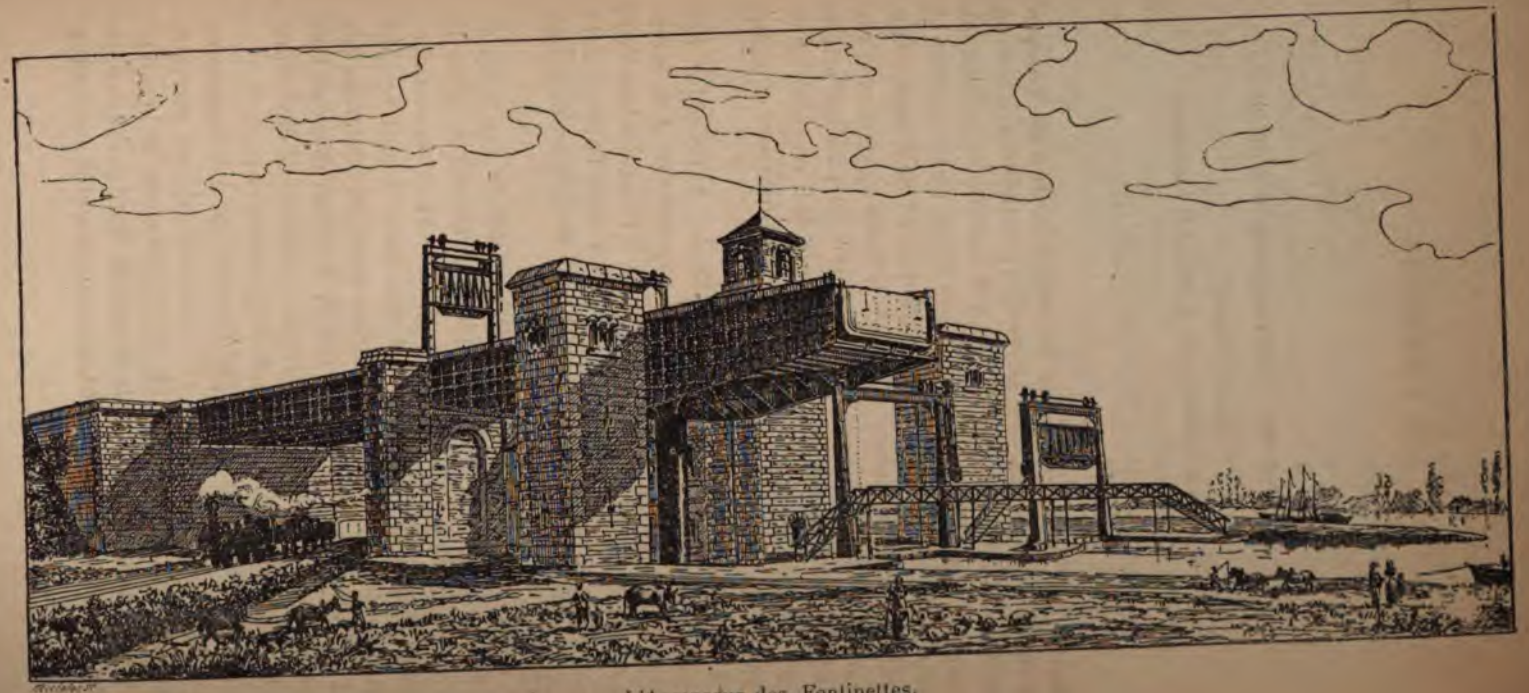
3° Remplacement du guidage aux angles du sas par un guidage central, qui permet seul de réduire au minimum le jeu entre les sas et le guidage, puisque ce jeu devient indépendant de la dilatation longitudinale du sas ;

4° Fondation absolument invariable du fond de la presse ;

5° Suppression de toutes les nervures extérieures de la virole supérieure de la presse ;

6° Contreventement horizontal de cette virole contre les parois du puits ;

7° Réduction au minimum du diamètre de la tubulure du tuyau d'accouplement.



L'Ascenseur des Fontinettes.

III. — *Notice sur l'ascenseur des Fontinettes*

par M. GRUSON

Ingénieur en chef des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais.

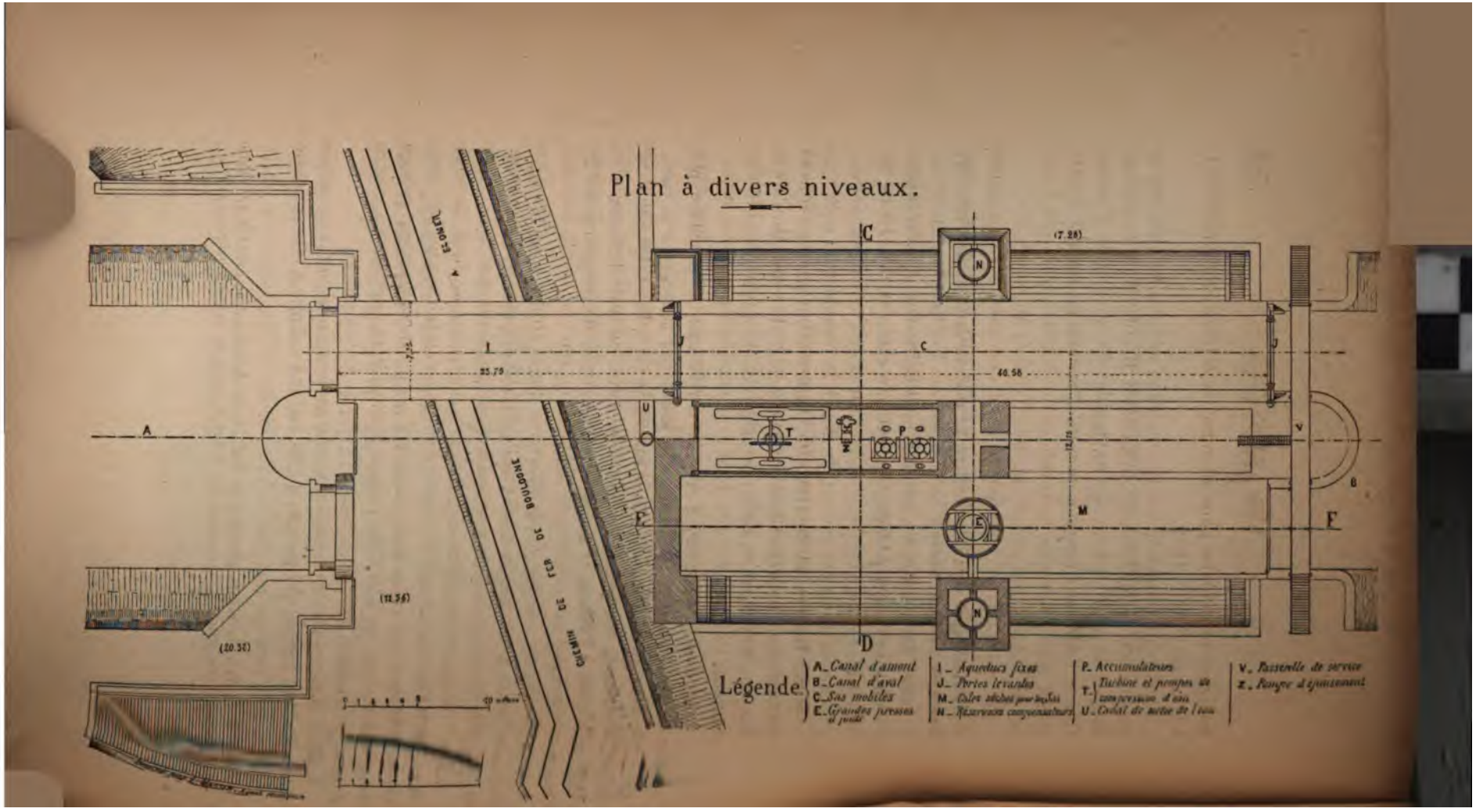
Motifs qui ont déterminé la construction de l'ascenseur des Fontinettes. — L'écluse des Fontinettes, située sur le canal de Neuffossé à Arques, près Saint-Omer, se compose de cinq sas superposés rachetant une chute totale de 13^{m},13.

Les bateaux de 5 mètres de largeur et de 1^{m},80 d'immersion, qui fréquentent les canaux du Nord, la franchissent avec une extrême lenteur. A la remonte, la durée du passage atteint souvent deux heures et demie ; à la descente, la traversée s'effectue plus rapidement, mais elle exige encore une heure et demie environ.

On a dû renoncer, dans ces conditions, à procéder par croisements. On affecte quatre jours par semaine à la navigation montante et les trois autres jours à la navigation descendante. On peut ainsi engager deux ou trois bateaux à la fois dans l'écluse et augmenter la capacité de fréquentation de l'ouvrage.

Mais cette capacité est bien près d'être atteinte, car le canal de Neuffossé donne lieu à un mouvement annuel de plus de 12.000 bateaux, tant chargés que vides. Aussi est-on fréquemment obligé de continuer les manœuvres nuit et jour sans interruption ; les encombrements sont permanents ; les bateaux subissent des pertes de temps considérables et l'on peut prévoir que, dans un avenir peu éloigné, il deviendra impossible d'écluser tous ceux qui se présenteront.

D'un autre côté, les sas des Fontinettes ont des longueurs utiles variant de 34^{m},80 à 35^{m},10. Par suite, ils ne peuvent livrer passage aux bateaux de 38^{m},50 de longueur et la navigation, si active entre les ports de la mer du Nord et l'intérieur de la France, ne peut profiter des travaux exécutés sur toutes


Plan à divers niveaux.
C
D
A
B
E
F
I
J
M
N
P
T
V
U
(7.28)
25.75
40.58
12.15
(11.36)
(10.30)
CANAL DE LA DERIVATION DE LA BOUDONNE
Légende.
A. Canal d'amont
B. Canal d'aval
C. Sas mobiles
E. Grandes presses
I. Aqueducs fixes
J. Portes levantes
M. Colles inclinées pour bateaux
N. Réservoirs compensateurs
P. Accumulateurs
T. Turbine et pompes de compression d'eau
U. Cadrat de mesure de l'eau
V. Passerelle de service
Z. Rampe d'épuisement

les lignes principales pour allonger les écluses, conformément à la loi du 5 août 1879.

C'est pour remédier à cette situation déplorable que, sur la proposition de M. l'inspecteur général Bertin, alors ingénieur en chef du service des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, l'Administration a prescrit la construction aux Fontinettes d'un ascenseur hydraulique analogue à celui qui fonctionne à Anderton, sur le canal de Trent et Mersey.

On ne pouvait en effet trouver une meilleure occasion d'expérimenter l'application des élévateurs à l'ascension des bateaux chargés de 300 tonneaux.

Cette expérience se poursuit actuellement et l'ascenseur hydraulique des Fontinettes sera bientôt livré à la circulation.

Description sommaire de l'appareil. — Les travaux s'exécutent conformément au projet présenté par M. Edwin Clark, ingénieur anglais. La Société des Anciens Établissements Cail est chargée de la construction de la partie métallique. Les terrassements et maçonneries ont fait l'objet d'une adjudication dans la forme ordinaire.

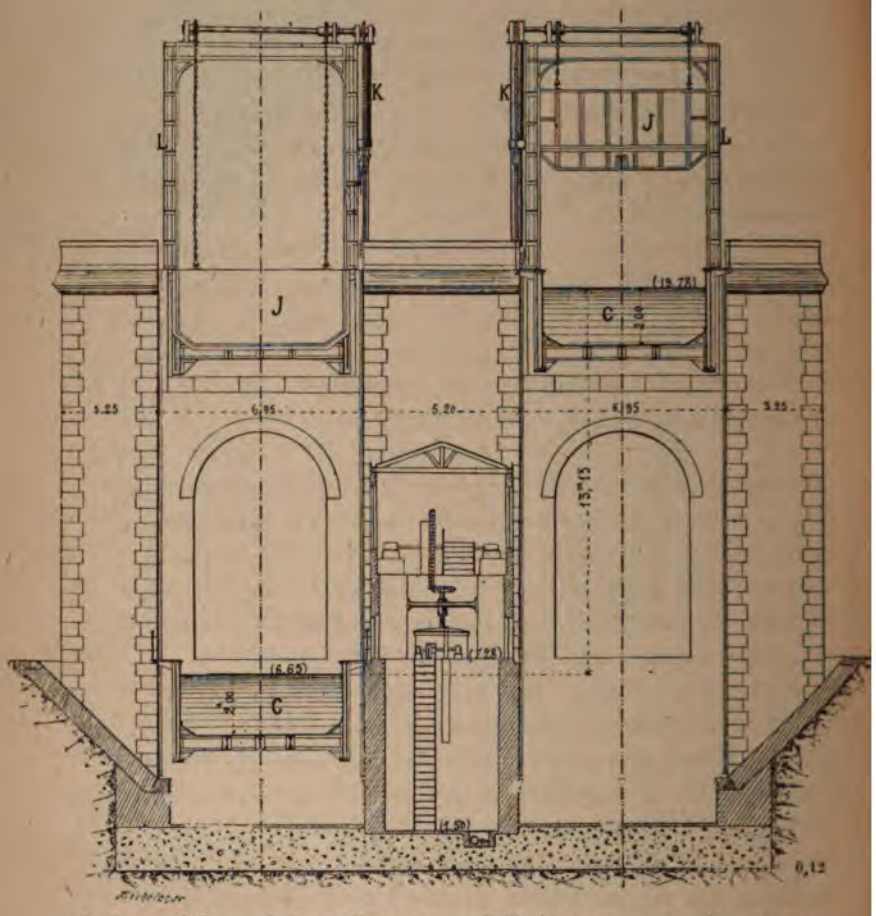
Une dérivation est ouverte sur la rive droite du canal de Neuffossé, à 60 mètres de l'écluse des Fontinettes et parallèlement à cette écluse. Elle est pourvue d'une écluse de garde au point d'intersection du déblai et du remblai, et elle franchit le chemin de fer de Boulogne à Saint-Omer à l'aide d'un double pont-canal métallique de $20^{m},80$ de portée. L'ascenseur est établi immédiatement en aval de ce pont-canal [1].

L'appareil se compose, comme à Anderton, de deux caissons ou sas renfermant de l'eau et dans lesquels flottent les bateaux. Chaque sas repose sur la tête d'un piston unique qui plonge dans un cylindre de presse hydraulique installé au centre d'un puits cuvelé en fonte.

Les presses communiquent au moyen d'une conduite munie d'une vanne, qui permet de les isoler à volonté. Cette conduite

1. Voir la petite planche, p. 540. Cette figure est empruntée au *Génie civil* ; les autres gravures ont été faites à l'aide de dessins originaux.

COUPE CD.



C. Sas mobile. — J. Portes levantes. — T. Turbines et pompes de compression. — K. Presses des portes. — L. Portiques supportant les portes.

Echelle de $0^m,004$ par mètre.

est munie pour chaque presse de soupapes d'échappement et d'introduction d'eau sous pression.

Les sas, au bas de leur course, au lieu de plonger dans l'eau du bief inférieur, se logent dans une cale sèche divisée en deux compartiments, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de recourir à une force auxiliaire pour achever l'ascension du sas montant.

A Anderton, la charge utile élevée, portée par un ou deux bateaux, ne dépasse jamais 100 tonneaux et le poids total du sas, y compris l'eau et les bateaux, atteint au maximum 250 tonnes.

Aux Fontinettes, l'ascenseur doit élever des bateaux chargés de 300 tonneaux et ayant 38^{m},50 de longueur, 5 mètres de largeur et 1^{m},80 d'immersion. Les dimensions de l'appareil sont donc beaucoup plus considérables et la masse totale à mettre en mouvement n'est guère inférieure à 700 tonnes, non compris le piston.

Chaque sas a 40^{m},50 de longueur. Il se compose de deux poutres espacées de 5^{m},60 d'axe en axe et présentant une hauteur hors cornières de 5^{m},50 au milieu et de 3^{m},50 aux extrémités. Ces poutres portent en encorbellement des passerelles de service. Elles sont reliées par des entretoises de 0^{m},525 de hauteur, espacées de 1^{m},50.

Dans la partie centrale, les entretoises sont remplacées par quatre sommiers de 1^{m},50 de hauteur, sur lesquels s'attache la tête du piston évasé à cet effet au moyen de fortes nervures, de manière à présenter la forme d'un rectangle de 3^{m},30 sur 3^{m},10 de côté.

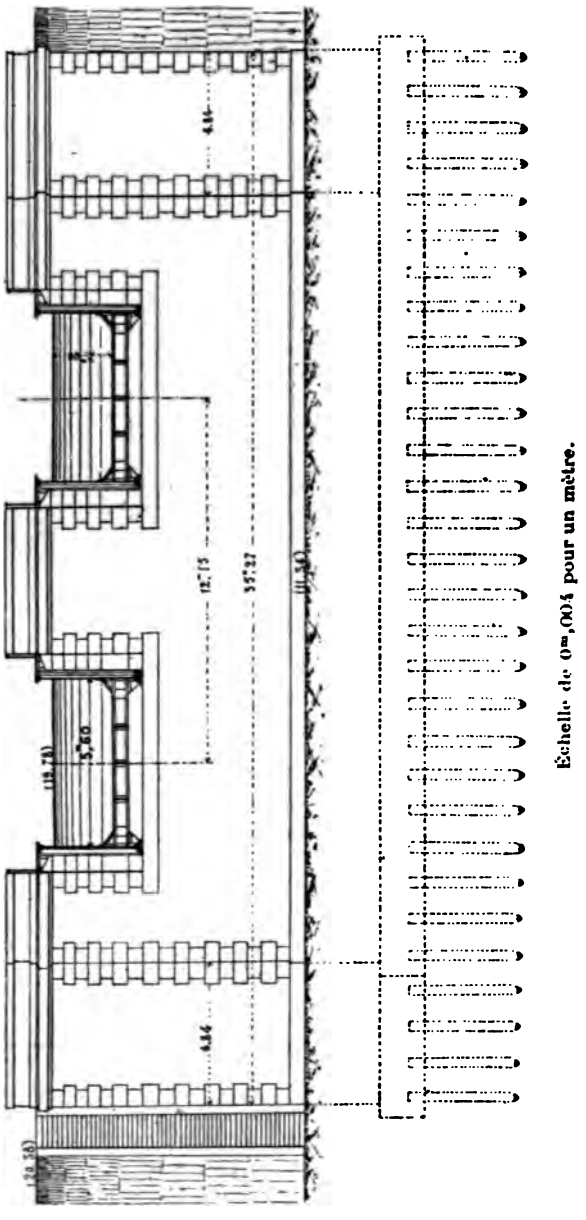
Le bordé a 10 millimètres d'épaisseur.

La hauteur minima de l'eau dans le sas est de 2 mètres.

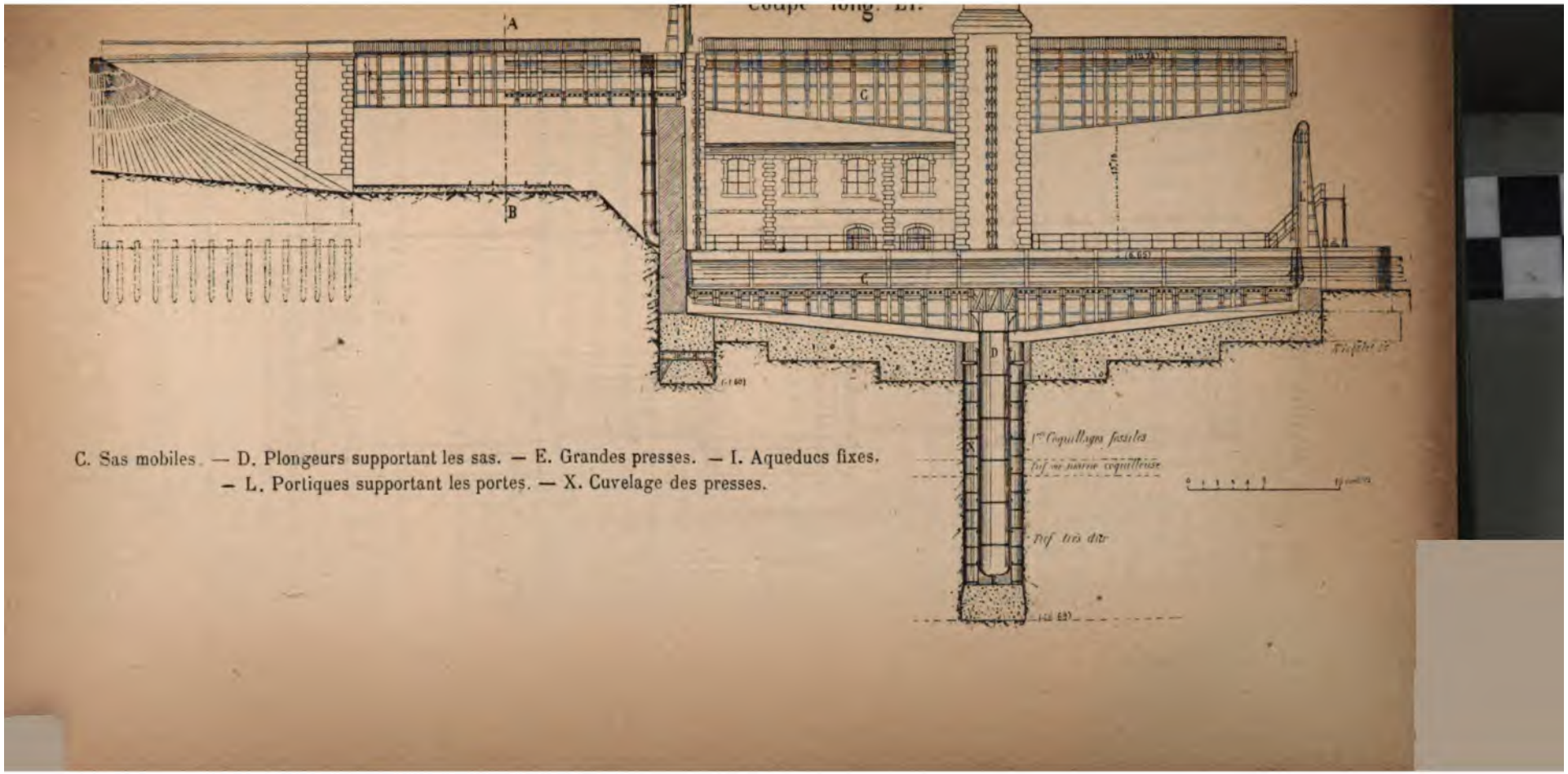
Les pistons sont en fonte. Ils ont une longueur totale de 17^{m},20, un diamètre extérieur de 2 mètres et une épaisseur de 0^{m},06. Ils sont formés de tronçons de 2^{m},80 de hauteur portant des brides intérieures qui les relient au moyen de boulons.

COUPE SUR AB

(Voir la coupe longitudinale EF.)



Échelle de 0m,004 pour un mètre.



C. Sas mobiles. — D. Plongeurs supportant les sas. — E. Grandes presses. — I. Aqueducs fixes. — L. Portiques supportant les portes. — X. Cuvelage des presses.

Les grandes presses ont $2^m,08$ de diamètre intérieur et $15^m,80$ de hauteur totale. Elles reposent sur des massifs de béton de ciment coulés au fond de puits de 4 mètres de diamètre. On donnera plus loin quelques détails sur le mode de construction adopté pour les presses.

Un sas peut contenir une hauteur d'eau de $2^m,27$ au plus. Le poids total de la masse, y compris le piston, s'élève à 770 tonnes environ, et la pression à l'intérieur du cylindre atteint à peu près 25 kil. par centimètre carré.

Chaque sas est muni à ses extrémités de portes levantes. Des portes semblables ferment à l'aval les aqueducs fixes qui constituent le double pont-canal, et qui ont même section transversale que les extrémités des sas; d'autres séparent du bief inférieur chaque compartiment de la cale sèche.

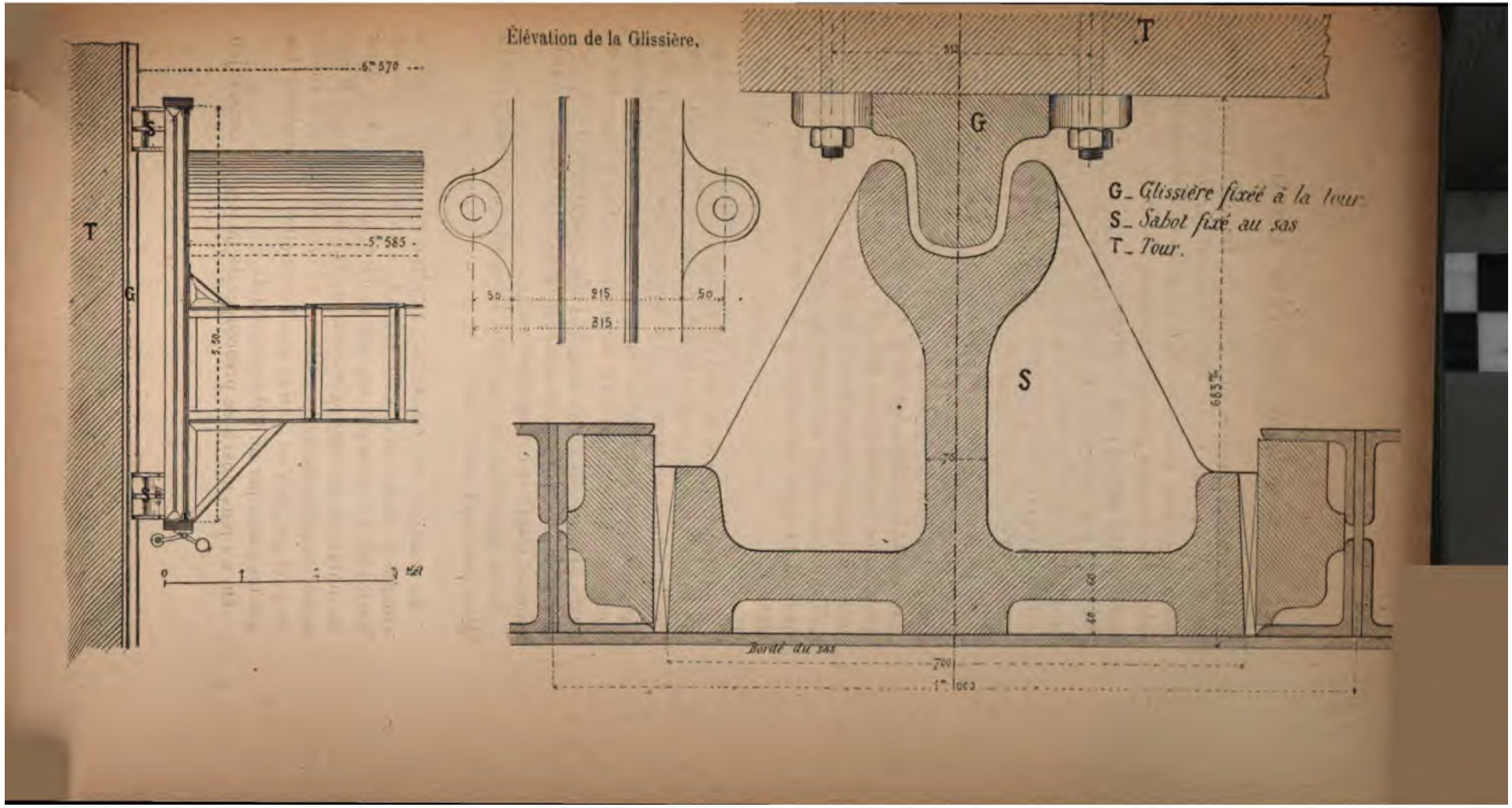
Toutes ces portes sont mises en mouvement par des presses hydrauliques qui permettent de les élever rapidement deux à deux.

Lorsqu'un sas est en haut de sa course, il existe un jeu de $0^m,10$ environ entre son extrémité amont et l'extrémité aval de l'aqueduc correspondant. Au moment où l'on veut ouvrir les portes pour faire entrer ou sortir un bateau, le joint est formé au moyen d'un tuyau en caoutchouc fixé à l'aqueduc et que l'on gonfle en y injectant de l'eau comprimée. De petites ventelles percées dans les portes permettent de remplir le vide avant d'établir la communication.

Cette disposition se reproduit à la partie inférieure pour la jonction avec le bief d'aval.

Le guidage des sas devait s'opérer aux quatre angles, comme à Anderton. A la suite de l'accident survenu en avril 1882 à l'élévateur anglais, accident qui a consisté dans la rupture de la virole supérieure de l'un des cylindres et qui a été, en partie au moins, attribué à l'insuffisance de ce mode de guidage, on s'est décidé aux Fontinettes à remplacer les guides d'aval par un guidage central.

On n'a plus ainsi à se préoccuper de laisser un certain jeu


Élévation de la Glissière.
T
G
S
6m 570
5m 585
5,50
0
1
3 Mèt
50
215
50
315
T
G
S
512
665
70
40
Bordé du sas
700
1m 000
G_ Glissière fixée à la tour
S_ Sabot fixé au sas
T_ Tour.

pour la dilation et l'on peut, en raison de la forme des poutres principales des sas, les diriger sur une hauteur beaucoup plus grande.

Les guides d'amont ont été conservés ; ils sont fixés sur des pilastres en maçonnerie faisant corps avec la culée d'aval du double pont-canal. Ils servent surtout à soulager les guides du centre qui suffiraient seuls pour maintenir la verticalité des pistons et l'horizontalité des sas.

Les guides du centre prennent leurs points d'appui sur trois tours carrées en maçonnerie, établies sur l'axe transversal de la cale sèche. Ils se composent de forts sabots en acier attachés aux sas et qui embrassent des glissières en fonte faisant saillie sur les faces longitudinales des tours. Ces glissières sont solidement fixées à la maçonnerie à l'aide de boulons se reliant à un chaînage général, destiné à assurer la solidarité de chaque tour.

Celle du milieu porte à la partie supérieure la chambre de manœuvre à laquelle on accède par un escalier et d'où le mécanicien, surveillant tout l'appareil, ouvrira ou fermera, au moyen de tiges verticales, la vanne de communication des grandes presses et les soupapes d'échappement et d'alimentation de ces presses.

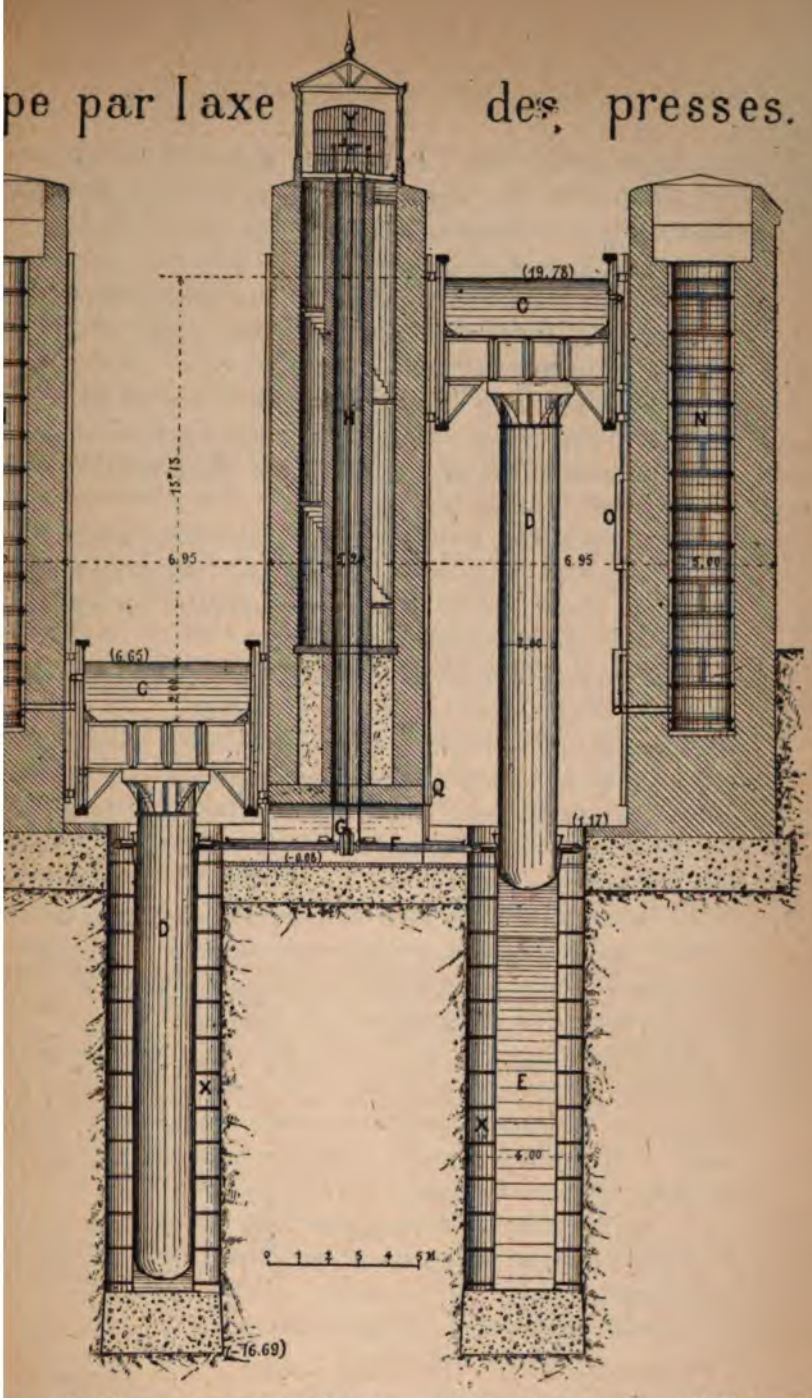
Réservoirs compensateurs et fonctionnement de l'appareil. — Les tours latérales servent à renfermer les réservoirs compensateurs. Ce sont des cylindres en tôle ayant même diamètre que les pistons et qui sont en communication constante avec les sas, au moyen de tuyaux articulés ayant une flexibilité suffisante pour les suivre dans leurs mouvements.

Ces réservoirs sont destinés à diminuer la dépense d'eau et à modérer la force de descente au départ.

Pour se rendre compte du rôle qu'ils sont appelés à jouer, il est indispensable d'expliquer comment l'appareil fonctionnerait s'ils n'existaient pas.

Prenons les sas au début d'une opération, l'un au sommet, l'autre au bas de sa course. Supposons que l'on ait ajouté au

pe par l axe des presses.



e. — D. Plongeurs supportant les sas. — E. Grandes presses. — F. Tuyau de ation des presses. — G. Vanne. — H. Transmission pour la vanne. — N. Réser- ensateurs. — O. Tuyaux articulés entre compensateurs et sas. — Q. Appareil automatique de la vanne. — X. Cuvelage des presses. — Y. Chambre de ma-

sas supérieur 41[1] tonnes d'eau, soit une tranche de $0^m,18$.

La presse du sas supérieur contenant 41 tonnes de plus que celle du sas inférieur, la force qui produit la descente sera au début de 82 tonnes.

Quand les sas seront au milieu de leur course, la moitié de l'eau de l'une des presses sera passée dans l'autre et la force ne sera plus que de 41 tonnes.

Quand le sas descendant sera arrivé au bas de sa course, c'est la presse du sas montant qui contiendra 41 tonnes de plus que celle du sas descendant ; la force sera nulle et le mouvement s'arrêtera de lui-même.

Dans la pratique, il faudra une certaine force pour vaincre les frottements. Elle sera obtenue par l'adjonction au sas supérieur d'une tranche de $0^m,09$ représentant un poids supplémentaire de 20 tonneaux environ.

Par conséquent, c'est une tranche d'eau de $0^m,27$ qu'il conviendrait d'ajouter en tout au sas supérieur.

Donc, chaque opération exigerait dans ces conditions un emprunt de 41 tonnes d'eau au bief supérieur, en sus de ce qui est nécessaire pour vaincre les frottements ; la force au départ serait de 82 tonnes : elle irait en diminuant jusqu'à devenir nulle.

Si les sas au contraire sont en communication avec les compensateurs et si l'on admet que le niveau de l'eau soit toujours le même dans un sas et dans le réservoir correspondant, l'appareil pourra être constamment en équilibre.

En effet, supposons que le sas supérieur ne renferme que la charge normale et appelons P le poids de la masse comprenant le sas, son contenu et le piston. La presse correspondante contenant 41 tonnes d'eau, la pression totale sur le fond sera égale à $P + 41^T$.

Le sas inférieur ayant reçu toute l'eau de son compensateur, soit 41 tonnes, et sa presse étant vide, la pression au fond sera également $P + 41^T$.

Prenons maintenant l'appareil en un point quelconque de

1. Ce poids de 41 tonnes représente le volume d'eau déplacé par un piston pour la hauteur totale d'ascension de $13^m,13$.

son mouvement, au moment où il a franchi une hauteur h. Appelons P′ le poids d'eau déplacé par un piston pour cette hauteur h. Comme les réservoirs ont même diamètre que les pistons, le sas descendant aura reçu un poids P′ de son compensateur et sa presse aura perdu un volume de même poids; la pression sur le fond sera donc encore P + 41^{T}.

De même, le sas montant aura perdu un poids P′ qui sera passé dans son compensateur; sa presse aura reçu un poids égal et la pression sur le fond n'aura pas changé.

L'équilibre existera donc dans toutes les positions.

Comme on le voit, c'est le sas inférieur qui contiendra au début de l'opération 41 tonnes d'eau supplémentaires; le volume correspondant retournant dans le compensateur ne devra jamais être renouvelé.

La force produisant le mouvement sera constante et représentée par un lest d'eau de 20 tonnes ajouté au sas supérieur.

D'ailleurs il sera facile, sans le secours de siphons, de régler l'appareil de manière à le mettre en état de fonctionner. Il suffira d'arrêter le sas ascendant à 0^{m},09 en contre-bas du niveau du bief d'amont et le sas descendant à 0^{m},09 en contre-haut du niveau du bief d'aval. A l'aide des ventelles des portes, le premier prendra le lest d'eau dont il a besoin et le second déversera dans le bief d'aval l'excès d'eau qu'il contiendra.

En cas d'erreur, la position sera régularisée par l'ouverture des robinets d'évacuation ou d'introduction de l'eau comprimée dans les presses.

Il est douteux que les réservoirs compensateurs imaginés par M. Clark puissent rendre tous les services qu'on en attend. Il est à craindre que, pendant les gelées notamment, les tuyaux articulés qui les mettent en communication avec les sas ne puissent les suivre dans leurs mouvements sans se rompre ou perdre beaucoup d'eau. Il faudra nécessairement une certaine charge pour que l'eau passe rapidement d'un compensateur dans le sas ou inversement, et, par suite, l'égalité absolue de niveau n'existera pas d'une manière constante.

Mais, quoi qu'il arrive, il n'en résultera pas d'inconvénients

graves pour le fonctionnement de l'appareil. L'eau ne manque pas en effet sur le canal de Neuffossé et il est sans intérêt d'économiser 44 mètres cubes à chaque opération. De plus, quelle que soit la force produisant le mouvement au départ, il sera facile de modérer la vitesse en ouvrant plus ou moins la vanne de communication des presses.

Machinerie. — La force motrice nécessaire pour assurer le fonctionnement régulier de l'ascenseur des Fontinettes est peu considérable. Il suffirait à la rigueur de combiner la machinerie de manière que l'on puisse : 1° restituer aux grandes presses l'eau qu'elles pourraient perdre par des joints défectueux ; 2° achever l'ascension d'un sas qui, pour un motif quelconque, se serait arrêté avant d'être arrivé au haut de sa course.

M. Clark avait imaginé à cet effet un accumulateur se chargeant automatiquement à l'aide d'une prise d'eau faite dans le bief d'amont, d'une capacité de 1.270 litres environ et permettant d'élever presque instantanément un sas d'une hauteur de $0^m,40$.

Mais il faut en outre assurer la manœuvre des portes levantes. Il est indispensable que l'on puisse vider les presses pendant la nuit, ou en cas d'ouragan, puis les remettre en charge en peu de temps. Il faut qu'il soit possible d'utiliser l'un des sas isolément quand l'autre sera en réparation.

On s'est décidé pour ces motifs à augmenter la puissance du moteur de manière à être en mesure d'opérer l'ascension complète d'un des sas en une heure. L'eau étant suffisamment abondante sur le canal de Neuffossé, il a paru rationnel d'utiliser la chute de l'écluse des Fontinettes.

La machinerie se compose d'une turbine à axe vertical d'une force de 50 chevaux mise en mouvement par l'eau du bief supérieur prise dans une bâche réunissant les deux aqueducs métalliques, de quatre pompes de compression à double effet accouplées deux à deux, et d'un accumulateur de 1.250 litres de capacité.

Les pompes peuvent produire par seconde $11^l,75$ d'eau à la pression de 25 atmosphères. Le remplissage d'une grande

presse exigeant 41 tonnes d'eau pourra donc s'effectuer en moins d'une heure sans le secours de l'accumulateur.

Celui-ci, aidé par le jeu des pompes, fournira presque instantanément le volume d'eau comprimée nécessaire pour une manœuvre ordinaire[1].

La machinerie est installée dans un petit bâtiment construit entre les deux compartiments de la cale sèche, en amont de la tour centrale ; on y a réservé l'emplacement nécessaire pour l'établissement d'un second accumulateur si, ce qui est fort peu probable, le premier était insuffisant.

La turbine, dans l'intervalle des manœuvres, actionnera une pompe centrifuge destinée à épuiser les eaux d'infiltration de la cale et les eaux de pluie, qui se réuniront dans les puits des grandes presses.

Précautions contre les chocs sur la cale sèche. — A Anderton, le sas descendant vient plonger dans l'eau du bief inférieur; il perd ainsi une partie de son poids et le mouvement s'arrête forcément.

Aux Fontinettes, si le mécanicien avait, par mégarde, embarqué un lest d'eau trop considérable ; s'il ne fermait pas à temps la vanne de communication, le sas descendant pourrait ne pas s'arrêter à la limite de sa course normale et il se produirait un choc sur la cale sèche.

Ce choc, eu égard à la faible vitesse de la descente, n'aurait pas de gravité. Mais, néanmoins, il a paru préférable de l'éviter. A cet effet, un appareil, mis en mouvement par un levier fixé au sas, ferme automatiquement la vanne de communication des presses, lorsque la distance entre le sas et la cale est de $0^m.40$.

D'ailleurs il sera facile, puisqu'on dispose d'un moteur puissant, de régler le mouvement de manière qu'il s'arrête avant que le sas descendant ne soit arrivé au bas de sa course.

1. Pour une manœuvre ordinaire, il faut environ 1.400 litres d'eau comprimée. Les pompes seules pourraient les fournir en deux minutes. En s'aidant de l'accumulateur, on les obtiendra en vingt-deux secondes. On aura donc intérêt à se servir de l'accumulateur pour une manœuvre ordinaire, quoiqu'on puisse s'en passer.

On achèvera la descente en ouvrant la soupape d'échappement de sa presse et on terminera l'ascension du sas montant en y introduisant de l'eau sous pression fournie par l'accumulateur.

Mode de construction des cylindres ou presses des sas. — Les cylindres ou presses de l'ascenseur des Fontinettes ont un diamètre intérieur de $2^m,08$, plus que double de celui des plus grandes presses existantes. La rupture d'une de ces pièces pourrait avoir des conséquences désastreuses ; leur remplacement exigerait des dépenses énormes et l'on a dû chercher pour ces motifs à les construire de manière à obtenir pour ainsi dire une sécurité absolue.

On a d'abord songé à adopter la fonte, comme à Anderton. Mais il fallait donner aux cylindres une épaisseur de $0^m,14$, les consolider par des frettes posées à chaud, et une pareille construction aurait été extrêmement coûteuse[1].

On a ensuite songé à l'acier fondu sans soufflures. Mais l'on a dû y renoncer, à la suite d'un essai qui a démontré que ce métal ne donne pas de garanties suffisantes de sécurité.

On a expérimenté la tôle d'acier rivée ; il a été reconnu qu'il était difficile, sinon impossible, d'obtenir une étanchéité satisfaisante.

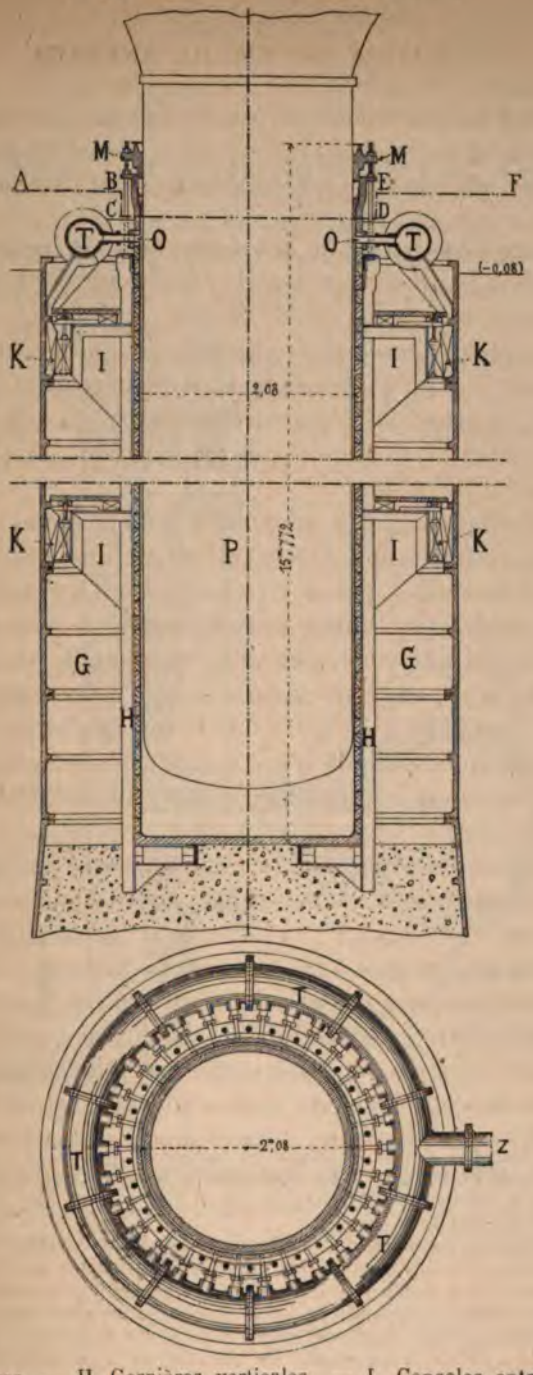
On s'est enfin arrêté à une solution proposée par la maison Cail, et qui consiste à composer les presses d'anneaux d'acier laminé sans soudure, de $0^m,14$ de hauteur et de $0^m,055$ d'épaisseur. Ces anneaux sont empilés les uns sur les autres et emboîtés à mi-épaisseur par un joint de $0^m,005$ de hauteur. Une chemise en cuivre de 3 millimètres d'épaisseur, appliquée au maillet sur les parois de la presse, assure l'étanchéité.

Les anneaux de ce genre sont d'une fabrication courante comme bandages de roues. L'acier dont ils sont formés peut supporter, sans se rompre, une traction allant jusqu'à 60 ki-

1. Les ingénieurs belges, qui doivent construire sur le canal du Centre, à la Louvière, plusieurs ascenseurs analogues à celui des Fontinettes, paraissent néanmoins décidés à donner la préférence aux presses en fonte frettées d'une manière continue, à l'aide d'anneaux en acier posés à chaud et dont le serrage sera réglé de manière que, sous la pression normale, la fonte, qui aura $0^m,10$ d'épaisseur, ne travaille ni à la compression ni à l'extension.

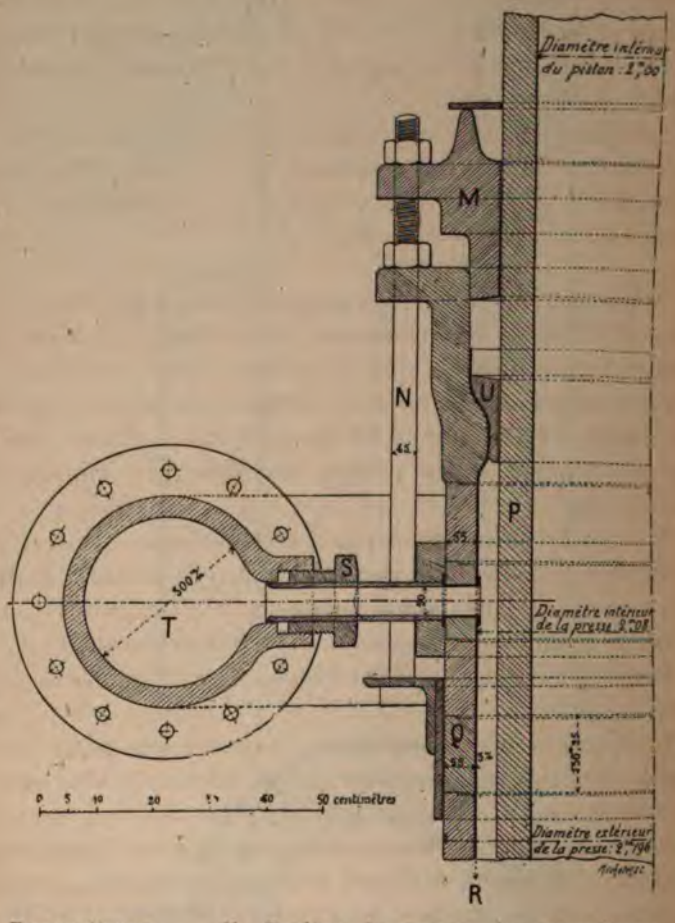
DÉTAILS DES GRANDES PRESSES

Coupe longitudinale et coupe ABCDEF.



G. Cuvelages. — H. Cornières verticales. — I. Consoles entretoisant la presse. — K. Coins de serrage. — M. Presse-étoupes. — O. Orifices d'entrée et de sortie de l'eau. — P. Piston. — T. Tuyau circulaire.

DÉTAILS DES PRESSES-ÉTOUPES ET DE LA TUBULURE



M. Presse-étoupes. — N. Boulons de serrage du presse-étoupes. — P. Piston. — Q. Presse. — R. Garniture en cuivre. — S. Petit presse-étoupes à la jonction d'un tube et du tuyau circulaire. — T. Tuyau circulaire. — U. Bague en bronze.

logrammes par millimètre carré et, dans ces conditions, les anneaux résisteraient à une pression intérieure dépassant 300 atmosphères.

Une virole de 1m,65 de hauteur construite d'après ces données a été essayée; elle a supporté sans se rompre, sans se déformer et sans perdre d'eau, une pression intérieure de 175 atmosphères, sept fois plus grande que la pression normale des presses des Fontinettes.

La rigidité de chaque cylindre est d'ailleurs assurée par un système de cornières verticales reliées à un poutrellage hexagonal établi sous la presse et par des entretoisements s'appuyant sur le cuvelage du puits.

A Anderton, le tuyau de communication entre les presses avait 0m,127 et se raccordait avec les viroles supérieures des presses à l'aide de tubulures de même section. Ces deux viroles se sont rompues en avril 1882, à peu près suivant une génératrice passant par le centre de l'orifice, l'une sous la pression normale, l'autre pendant une épreuve à laquelle elle était soumise.

Ces ruptures ont démontré qu'il est dangereux de percer un orifice de grand diamètre dans un cylindre de presse[1]; ce danger serait bien plus grand encore aux Fontinettes, où le tuyau de communication a un diamètre intérieur de 0m,25.

Pour éviter cet inconvénient grave, on a adopté les dispositions suivantes.

Trente petits orifices de 0m,05 de diamètre sont percés dans l'un des anneaux supérieurs de chaque presse. Ils sont garnis de tubes en cuivre à collets. L'anneau est renforcé par une frette dans laquelle sont vissés des tuyaux d'acier faisant suite aux orifices, de même diamètre qu'eux, et rattachés, à l'aide de petites boîtes à étoupes, à un tuyau circulaire de 0m,30 de diamètre. C'est de ce dernier que part le tuyau de communication proprement dit.

De la sorte, l'anneau n'est que très peu affaibli suivant

1. Dans les nouvelles viroles supérieures d'Anderton, on a remplacé l'orifice unique par quatre tubulures de 0m.051 de diamètre intérieur, placées à des hauteurs et sur des génératrices différentes.

chaque génératrice, et l'apposition d'une frette suffit pour lui donner une résistance au moins égale à celle des anneaux courants. L'eau qui doit passer d'une presse dans l'autre, après avoir cheminé dans l'espace annulaire compris entre le cylindre et le piston, s'écoule tout autour de cet espace, au lieu d'avoir à s'introduire dans un orifice unique. Il en résulte une égale répartition de la pression.

Maçonneries. — La construction de l'ascenseur des Fontinettes nécessite d'importants travaux de maçonnerie.

La culée qui limite le canal d'amont soutient un remblai de 12 mètres environ de hauteur et supporte une charge verticale de 330 tonnes, produite par les aqueducs fixes et leur charge d'eau. On a donné à cette culée une épaisseur moyenne de $3^{m},50$ et elle est consolidée par les murs en retour et un musoir central, qui constituent de véritables contreforts. Elle est fondée sur un massif de béton reposant sur une couche de gravier compact, par l'intermédiaire de pieux de $0^{m},33$ de diamètre battus au refus d'un mouton de 500 kilogrammes.

La culée d'aval des aqueducs fixes, ou mur de chute, a en élévation une épaisseur de $1^{m},80$. Elle a été fondée à très peu de distance du chemin de fer de Boulogne à Saint-Omer. Les fondations, qui ont $3^{m},60$ d'épaisseur, ont pu, à l'aide de l'air comprimé, être descendues à plus de 13 mètres en contre-bas des rails, sans qu'il en soit résulté aucun inconvénient pour l'exploitation de la voie ferrée. Cette culée est consolidée par trois pilastres pleins de 3 mètres d'épaisseur, sur lesquels les guides d'amont des sas prennent leurs points d'appui.

Le radier de la cale sèche est construit en béton au mortier de ciment de Portland. A la partie supérieure, il est réglé suivant deux plans inclinés vers le centre, de manière à épouser la forme des grandes poutres des sas. A la partie inférieure, il présente des redans dans le sens longitudinal. Son épaisseur est de 2 mètres au minimum.

La cale est limitée latéralement par des perrés maçonnés.

e est divisée en deux compartiments par un massif longitu-
al de 5m,20 de largeur qui, en amont de la tour centrale,
stitue le bâtiment des machines. En aval, ce massif est
sé au niveau du terre-plein; il permet d'accéder à la tour
diane et au bâtiment des machines.
A l'aval, la cale se termine par deux bajoyers et un musoir
i la raccordent avec le bief inférieur. Ils portent une passe-
le qui établit la communication entre les rives et le massif
tral.

Les tours latérales, composées de murs de 0m,80 d'épaisseur,
t extérieurement 5 mètres de côté; celle du milieu a 5m,20
5 mètres et des murs de 0m,90.

Il serait peu intéressant de donner en détail les calculs de
istance et de stabilité des maçonneries de l'ascenseur, et
us nous bornerons à établir que les tours ont des dimensions
fisantes pour résister aux actions que leur transmettent les
. Il importe au plus haut point que cette condition soit rem-
, car, si l'un des sas s'inclinait, soit dans le sens transver-
, soit dans le sens longitudinal, l'eau qui se porterait du côté
lus bas tendrait à augmenter l'inclinaison, et le piston se
serait infailliblement.
Un sas peut être sollicité par l'action du vent et, lorsque la
mmunication avec l'aqueduc correspondant est ouverte, par
oussée de l'eau sur la porte d'aval.
i l'on suppose que le vent, frappant directement l'une des
ndes faces du sas arrivé au haut de sa course, exerce, par
re carré, une pression de 200 kilogrammes[1], la pression
le, pour une surface de 180 mètres carrés atteindra 36.000
grammes.
ette pression aura son point d'application sur l'une des
s à 10m,34 environ au-dessus du terre-plein ou du massif
tral, et elle tendra à la renverser suivant l'axe transversal

[1] Cette pression de 200 kilog. par mètre carré correspond à un vent très
nt. Elle ne pourrait être dépassée que lors d'un ouragan exceptionnel,
on devra avoir soin, dans ce cas très rare qui interrompt la navigation,
escendre les sas dans la cale sèche.

de la cale. Il suffit d'étudier l'effet produit sur l'une des tours latérales, puisqu'elles ont des dimensions moindres que celle du milieu, et au niveau du terre-plein, car en contre-bas les tours sont consolidées par le massif central, les perrés et le terrain naturel.

Dans ces conditions, le moment de la pression du vent sur l'une des tours latérales est de :

$$36.000 \times 10{,}34 = 372.240 \text{ Km.}$$

La tour a $15^m{,}90$ de hauteur au-dessus du terre-plein. En négligeant le poids des compensateurs et admettant que la maçonnerie pèse 2.000 kilogrammes par mètre cube, on a, pour le moment de stabilité :

$$15^m{,}90\,(\overline{5{,}00}^3 - \overline{3{,}40}^3) \times 2.000 \times \frac{5{,}00}{2} = 1.068.480 \text{ Km.}$$

Ce moment est donc environ deux fois et demi plus grand que le moment de renversement, ce qui donne toute sécurité.

La résultante de la pression Q due au vent et du poids P de la tour considérée rencontre la base de cette tour au niveau du terre-plein à une distance du centre donnée par la formule :

$$u_1 = \frac{Q \times 10{,}34}{B} \frac{372.240}{= 15.90\,(\overline{5{,}00}^3 - \overline{3{,}50}^3) \times 2.000} = 0{,}871.$$

C'est en ce point que se trouve le centre de pression sur cette base.

L'effort de compression maximum exercé sur la base de la tour s'obtient par la formule :

$$t = \frac{P}{S}\left(1 + \frac{uu_1}{r^2}\right)$$

P étant le poids de la tour ;
S la section horizontale de la maçonnerie ;
u le demi-côté de la base $= 2^m{,}50$;
u_1 la distance trouvée ci-dessus $= 0{,}871$;
r le rayon de gyration de la section.

Substituant, on trouve :

$$t = \frac{15{,}90(\overline{5{,}00}^2 - \overline{3{,}40}^2) \times 2.000}{\overline{5{,}00}^2 - \overline{3{,}40}^2} \times \left(1 + \frac{0{,}871 \times 2{,}50 \times 12}{\overline{5{,}00}^2 - \overline{3{,}40}^2}\right) = 54.600$$

ou $5^{kgs},46$ par centimètre carré.

La brique rouge du pays peut pratiquement supporter une pareille pression. D'ailleurs elle ne se produira réellement jamais, car on s'est placé dans un cas tout à fait défavorable; et l'on n'a pas tenu compte de ce que les tours réduisent notablement la surface des sas soumise à l'action du vent.

Lorsqu'un sas est en haut de sa course, et que la porte d'amont est levée, la poussée sur la porte d'aval n'est plus équilibrée. De plus, quand un bateau pénètre dans le sas, il se produit à l'avant un remous qui augmente la pression sur la porte d'aval et que l'on peut évaluer à $0^m,10$.

Ces deux efforts s'ajoutent et tendent à renverser dans le sens longitudinal les deux tours entre lesquelles se trouve le sas considéré. Si l'on calcule le moment de renversement correspondant pour la tour latérale, on trouve qu'il ne dépasse pas 120.000 k. m.

Ce moment est inférieur au tiers de celui qui est dû à la pression du vent. Comme la tour a les mêmes dimensions dans les deux sens, il s'ensuit que la résistance dans le sens longitudinal est plus que suffisante.

Donc, même en faisant abstraction des guides d'amont qui viennent au secours des guides centraux, on peut être assuré que les tours sont capables de résister à toutes les actions que leur transmettent les sas, que ceux-ci resteront horizontaux, et que, par suite, la verticalité des pistons sera constamment maintenue.

Durée des manœuvres. — A Anderton, la durée totale d'une manœuvre de l'élévateur, ou plutôt l'intervalle de temps qui sépare l'admission de deux bateaux allant dans le même sens, ne dépasse pas 15 à 18 minutes. Mais les embarcations

élevées sont petites et maniables, tandis que, aux Fontinettes, on a affaire à des bateaux de grand tonnage, pour lesquels les manœuvres d'entrée et de sortie doivent prendre beaucoup plus de temps.

La section mouillée d'un sas ou d'un aqueduc est à peu près égale à celle d'une écluse ordinaire ayant $5^{m},20$ de largeur et 2 mètres de mouillage. D'après ce qui se passe actuellement à l'écluse des Fontinettes, on peut admettre qu'il faudra environ 15 minutes pour faire entrer un grand bateau à pleine charge dans le sas supérieur, y compris la traversée de l'aqueduc ; la sortie s'effectuera plus rapidement, en 10 minutes environ.

La durée totale d'une manœuvre se décomposera comme suit :

Entrée d'un bateau descendant dans le sas supérieur	15 m.
Fermeture des portes d'amont	2
Descente	5
Ouverture des ventelles et des portes d'amont. . .	3
Sortie du bateau montant	10
Total	35 m.

Comme on le voit, ce sont les manœuvres d'entrée et de sortie qui prennent le plus de temps. Il sera facile de les accélérer en établissant des cabestans hydrauliques, si l'expérience démontre que l'on peut sans crainte produire un remous considérable en avant d'un bateau entrant dans un sas. D'ailleurs, la durée de ces manœuvres sera réduite de plus de moitié pour les bateaux de petites dimensions et pour les bateaux vides ou faiblement chargés, qui sont très nombreux sur le canal de Neuffossé.

Donc une manœuvre totale de l'ascenseur, c'est-à-dire le passage d'un bateau montant et d'un bateau descendant, n'exigera pas plus d'une demi-heure en moyenne ; elle sera donc incomparablement plus rapide que l'éclusage d'un bateau dans l'écluse actuelle ; il n'y aura plus ni encombrements, ni pertes de temps, car il sera possible, en travaillant 15 heures par jour et sans le secours de cette écluse, de livrer passage à

60 bateaux, chiffre qui ne pourra être atteint que dans un avenir très éloigné.

Ce sont là, pour la navigation, des avantages considérables qui justifient la construction de l'ascenseur hydraulique des Fontinettes.

C. — Renseignements divers sur les canaux.

I. *Le canal de la Deûle et la salubrité de la ville de Lille.*

Les voies de transport par eau sont très multipliées dans le nord de la France. La plupart sont fort anciennes; mais elles ont subi, depuis leur création, de profondes transformations. Le rapide historique qui va suivre, relatif au canal de la Deûle, permettra de s'en faire une idée [1].

Cette voie navigable a son origine sur la rivière de Scarpe, au Fort-de-Scarpe près Douai. Elle traverse la ville de Lille et elle se jette dans la Lys à Deûlémont, après un parcours de 65 kilomètres.

Du Fort-de-Scarpe à Courrières, sur 16 kilomètres environ de longueur, c'est un canal entièrement artificiel; à partir de Courrières, il écoule les eaux d'un cours d'eau appelé Souchez ou Deûle qui lui a donné son nom. Ce cours d'eau a sa source vers Carency, dans le Pas-de-Calais, et passe à Lens. En aval de Lille, le canal suit le lit même de la rivière et prend le nom de Basse-Deûle.

La Basse-Deûle est navigable depuis un temps immémorial. Elle fût donnée en toute propriété aux Lillois en mai 1267 par Marguerite, comtesse de Flandres et de Hainaut.

Le 31 octobre 1271, Jean III, châtelain de Lille et en même temps seigneur de La Bassée, fut autorisé à faire exécuter à ses frais un canal réunissant ces deux villes. L'acte fixait sa largeur à 40 pieds avec 4 pieds au moins de mouillage. Il lui fut alloué pour ces travaux une indemnité de 1.500 livres

1. Ces renseignements sont en grande partie empruntés à la notice publiée en 1879 par M. Bertin, alors ingénieur en chef du service des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais. On verra quelle importance les travaux de navigation ont eu pour la ville de Lille, au point de vue de la salubrité en même temps que sous le rapport commercial.

d'Artois. Ils furent terminés en moins d'un an sur une étendue d'environ 25 kilomètres.

Vers le commencement du XVI^e^ siècle, le canal fut prolongé jusqu'à Courrières et Lens. Ce travail fût opéré aux frais de la ville de Lille, ainsi que l'établit un arrêt du Conseil d'État du roi du 31 octobre 1674.

Ces diverses entreprises, malgré leur importance, ne donnaient encore au commerce général aucune facilité, lorsqu'en 1688 l'on conçut la pensée de réunir la vallée de la Deûle à celle de la Scarpe par un canal qui, franchissant la crête qui les sépare, viendrait aboutir de Courrières au Fort-de-Scarpe.

Cette jonction fut réalisée en 1693. A dater de cette époque, la navigation put s'établir depuis Douai jusqu'en amont de Lille et depuis Lille jusqu'à Deûlémont; mais il n'existait pas de communication entre les deux sections.

Les frais d'entretien incombaient alors par parties égales à la ville de Lille, aux États de Flandres et aux États d'Artois. Le 7 mai 1696, la ville de Lille les prit exclusivement à sa charge et entra en possession des péages.

Le 6 août 1749 une ordonnance royale prescrivit le curage général du canal depuis Douai jusqu'à Lille; ce travail a coûté 413.539 francs.

C'est à la même époque que l'on fit disparaître la solution de continuité qui existait encore dans la traversée de Lille et que fut ouvert le canal de l'Esplanade destiné à compléter enfin, entre le Fort-de-Scarpe et Deûlémont, une ligne navigable non interrompue[1].

1. En vertu d'une transaction passée le 2 septembre 1619 entre les magistrats de Lens et de Lille, la première de ces villes était chargée de l'entretien de l'embranchement de Courrières à Lens. Elle s'adressa en vain aux Etats d'Artois pour être déchargée d'une partie des frais qu'il entraînait. Faute de ressources suffisantes, elle le laissa dépérir et il fut définitivement comblé vers 1791. Il ne reste plus aucune trace apparente des digues ni des ouvrages d'art.

Mais la communication entre Lens, centre du bassin houiller du Pas-de-Calais, et le canal de la Deûle à Courrières ne tardera pas à être rétablie. Déjà la C^ie^ des mines de Courrières a construit par voie de concession, en vertu du décret du 30 avril 1862, un embranchement de Courrières à Harnes. Les travaux nécessaires pour le prolonger jusqu'à Lens, en suivant la vallée de la Souchez, sont actuellement en cours d'exécution. Ils sont effectués

Le canal de la Deûle est entré dans les mains de l'État, après la Révolution, par l'effet des lois des 15-18 mars et 23 novembre 1798.

Un droit de navigation fut établi à son profit en vertu de la loi du 30 floréal an X.

Cependant un décret du 28 février 1810 mit encore à la charge de la ville de Lille un curage qui fut opéré par des prisonniers espagnols, sous la direction des agents du gouvernement et qui coûta 600.000 francs. La ville en a vainement poursuivi la restitution.

La Deûle formait alors un canal à point de partage. Le bief culminant, situé entre l'écluse du Fort-de-Scarpe et celle de Pont-à-Vendin (démolie en 1859), avait une longueur de 20.400 mètres; il était alimenté par une prise d'eau faite dans la Scarpe en amont de Douai, par un petit ruisseau dévié artificiellement, l'Escrébieux, et par la Souchez ou Deûle. La navigation s'opérait très difficilement, même au tirant d'eau de $1^{m},20$, et d'une manière intermittente, attendu que le barrage de Pont-à-Vendin et divers autres en aval n'avaient qu'une seule paire de portes. Pendant les sécheresses, elle était complètement interrompue.

Les envasements progressifs du canal, ainsi que les difficultés de l'alimentation, croissant chaque jour et devenant d'autant plus graves que les besoins du commerce se développaient en même temps, l'Administration fit étudier, dès l'année 1820, les perfectionnements dont le régime de ce cours d'eau était susceptible.

On résolut alors d'assurer d'une manière continue l'alimentation et le passage des bateaux en supprimant l'écluse de Pont-à-Vendin et en abaissant le plafond du bief de partage, de manière à transformer le canal en une dérivation de la Scarpe.

La construction de plusieurs écluses à sas en remplacement des barrages simples, l'approfondissement du lit de manière à permettre la circulation des bateaux prenant $1^{m},50$ d'enfoncement, furent décidés.

par l'Etat, avec le concours de la Société houillère de Liévin et de la ville de Lens. Ils ont été déclarés d'utilité publique par le décret du 28 mars 1881, qui fixe la dépense à 1.500.000 francs.

La loi du 24 mars 1825 fit de ces améliorations l'objet d'une concession. La dépense était évaluée à 1.200.000 francs.

Les travaux n'ayant pas réalisé les avantages que le commerce devait en attendre, le concessionnaire fut obligé d'exécuter des travaux supplémentaires, et ce n'est qu'à la fin de 1837 que l'augmentation du mouillage et la continuité de la navigation furent définitivement obtenues.

La concession de la Deûle qui, à son début, était jugée devoir être une médiocre entreprise a, au contraire procuré à ses actionnaires un bénéfice considérable avec un tarif modéré.

Le tonnage moyen rapporté au parcours total n'a pas dépassé 150.000 tonnes jusqu'en 1825 ; mais il s'est ensuite élevé, et en 1853 il atteignait presque 600.000 tonneaux.

La concession a pris fin le 16 septembre 1854.

Depuis lors, de nouvelles améliorations ont été réalisées.

Le mouillage a été porté à 2 mètres entre Douai et Lille, en vertu du décret du 28 avril 1860, de manière à permettre la circulation des bateaux prenant $1^{m},80$ d'enfoncement. La dépense s'est élevée à 534.663 francs.

Un autre décret, du 3 août 1862, a autorisé la rectification du canal dans la traversée de Lille. La dépense a atteint 743.918 francs.

Une nouvelle écluse a été construite à Don, en vertu du décret du 10 décembre 1868. Elle a coûté 362.592 francs.

Mais l'amélioration de la voie navigable n'était pas complète. Elle restait très sinueuse en amont comme en aval de Lille. Plusieurs ouvrages d'art avaient des débouchés insuffisants. La partie comprise entre Lille et l'origine du canal de Roubaix n'avait pas le mouillage normal de 2 mètres.

Aussi un décret du 3 août 1880 a-t-il déclaré d'utilité publique les travaux à exécuter pour l'amélioration du canal, conformément au programme annexé à la loi du 5 août 1879. La dépense est évaluée à 3.418.000 francs.

Ces travaux, qui comprennent le curage général du lit, le perreyage des berges, d'importantes rectifications et reconstructions d'ouvrages d'art, l'établissement de ports publics et de garages pour le stationnement des bateaux, sont en cours d'exécution. Lorsqu'ils seront achevés, les bateaux de $38^{m},50$

de longueur, de 5 mètres de largeur et de 1m,80 d'immersion, portant 300 tonneaux, pourront parcourir toute la voie navigable, comme ils circulent déjà aujourd'hui entre Paris et Lille.

Les sommes qui auront été dépensées pour la canalisation et l'amélioration de la Deûle, en y comprenant celles qui font l'objet du décret du 3 août 1880, peuvent être évaluées en nombres ronds aux chiffres suivants :

Antérieurement au XIXe siècle.	7.000.000 fr.
Concession Honnorez (loi du 24 mars 1825).	1.200.000
Décret du 28 avril 1860	534.000
Décret du 3 août 1862.	744.000
Décret du 10 décembre 1868.	366.000
Décret du 3 août 1880.	3.418.000
Total général	13.262.000 fr.

Le coût kilométrique ressortira donc à 207.000 francs.

Cette dépense est très modeste, eu égard aux résultats obtenus et aux services exceptionnels que rend la voie navigable.

Le canal de la Deûle, dans sa partie la plus importante et la plus fréquentée, entre Douai et Lille, ne comprend en effet que deux biefs, l'un de 30 et l'autre de 17 kilomètres de longueur, séparés par l'écluse de Don. Entre Douai et Don, il présente de beaux alignements droits raccordés par des courbes à grand rayon. Les travaux en cours feront disparaître les sinuosités trop fortes et les étranglements que l'on rencontre encore entre Don et Lille et entre Lille et l'origine du canal de Roubaix.

Il traverse les parties les plus industrielles des départements du Nord et du Pas-de-Calais. Il donne lieu à des embarquements considérables de combustibles minéraux et il sert de débouché au bassin houiller vers ses principaux centres de consommation, Paris d'une part, Lille et Roubaix d'autre part. Il forme l'un des tronçons de la grande ligne de navigation qui réunit Paris à Lille et aux ports de la mer du Nord, Dunkerque, Gravelines et Calais. Il dessert un trafic très important et qui s'accroît d'année en année. Entre Douai et

Lille, le tonnage moyen ramené au parcours total a, en 1882, atteint 1.380.000 tonnes et cette section occupe à cet égard le septième rang parmi les voies navigables de la France.

Elle joue d'ailleurs un rôle fort important au point de vue de la salubrité de la ville de Lille (178.144 habitants) et de sa banlieue. Elle permet en effet de dériver de la Scarpe un volume d'eau considérable, sans lequel les canaux intérieurs de Lille et la voie navigable elle-même deviendraient des foyers d'infection dangereux au plus haut point pour la santé publique.

A la fin du XVIII[e] siècle, lorsque l'État s'est emparé du canal, le débit total à Lille n'atteignait pas 2.700 litres par seconde. Il dépasse aujourd'hui 5.000 litres en temps ordinaire. C'est grâce aux travaux exécutés par l'État que ce résultat a pu être obtenu; la ville de Lille en tire de tels avantages qu'ils compensent, et au-delà, la part de dépense qu'elle a eu à supporter pour la création et l'amélioration de la voie navigable.

II. — *Le trafic et les prix du fret sur les voies navigables du Nord.*

Importance de la région desservie et état matériel des principales voies. — L'agriculture et l'industrie sont particulièrement développées dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais. Le bassin houiller qu'ils possèdent est le plus important du territoire français ; il a fourni en 1882 près de la moitié de la production et plus de 30 pour cent de la consommation totale de la France. L'extraction s'accroît d'une manière continue et vraiment prodigieuse :

En 1850, le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais produisait	1.000.000	tonnes.
En 1860, la production s'est élevée à. .	2.000.000	»
En 1870, —	4.000.000	»
En 1880, —	8.500.000	»
En 1884, —	9.500.000[1]	»

1. L'extraction de 1884 a été inférieure de près de 500.000 tonnes à

On conçoit donc que les voies navigables de la région aient un trafic fort important, progressant d'une manière continue comme la production du bassin houiller.

La progression est surtout frappante si l'on considère, dans l'ensemble des voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, la ligne qui s'étend du bassin d'Etrun sur l'Escaut au port de Dunkerque.

Cette ligne, qui se compose de canaux et de rivières canalisées, a un développement total de 161 kilomètres ; elle comprend 13 biefs dont les deux plus longs ont ensemble un parcours de 77 kilomètres. Elle traverse et dessert une partie du bassin houiller du Nord et tout le bassin du Pas-de-Calais ; prolongée par la ligne de Mons et d'Anzin à Paris, elle réunit à ce grand marché le bassin houiller, Lille et Dunkerque. Elle profite tout particulièrement des immenses travaux qui s'exécutent dans notre grand port de la mer du Nord.

Une partie de la ligne d'Etrun à Dunkerque jouit depuis longtemps d'un mouillage de 2 mètres. Mais ce n'est que depuis 1882 que cette amélioration est réalisée sur tout le parcours et que les bateaux de $1^{m},80$ d'enfoncement peuvent atteindre le port de Dunkerque.

Le passage des Fontinettes, sur le canal de Neuffossé près de Saint-Omer, où l'on rencontre 5 sas superposés rachetant une chute totale de $13^{m},13$, s'oppose seul aujourd'hui à la circulation des péniches de $38^{m},50$ de longueur. Dès que l'ascenseur hydraulique en construction sur ce point sera mis en service, c'est-à-dire en 1886, ces bateaux qui, avec une largeur de 5 mètres et une immersion de $1^{m},80$, portent 300 tonneaux de chargement utile, pourront circuler entre Paris et Dunkerque.

Progression du trafic sur la ligne d'Etrun à Dunkerque. — Pour ne pas entrer dans des développements trop étendus, on se contentera d'indiquer les variations qu'a subies le trafic depuis l'ouverture des chemins de fer sur les

celle de 1883. Ce fait, qui ne s'était pas produit depuis de longues années, doit être attribué à la grève des mineurs d'Anzin et à la crise industrielle et agricole.

deux canaux qui se trouvent aux extrémités de la ligne, c'est-à-dire sur le canal de la Sensée, d'une longueur de 25 kilomètres, qui réunit l'Escaut à la Scarpe, et sur la canal de Bourbourg qui s'étend de l'Aa à Dunkerque sur 21 kilomètres.

Les chiffres qui suivent expriment le tonnage moyen, ramené au parcours total, en milliers de tonnes :

DÉSIGNATION DES CANAUX	1844	1851	1861	1871	1881	AUGMENTATION de 1844 à 1884.	
						Totale	pour cent.
Canal de la Sensée.....	173	178	531	797	1 568	1 395	806 0/0
Canal de Bourbourg....	159	195	258	435	837	678	427 0/0

Ces chiffres montrent que, malgré la multiplicité des chemins de fer dans la région du Nord, le trafic des voies navigables ne cesse de s'y accroître dans des proportions énormes; cet accroissement justifie les dépenses considérables que l'État s'est imposées, et celles qu'il s'imposera dans l'avenir, pour les mettre dans un état de navigabilité en rapport avec le trafic.

Il est intéressant de faire remarquer d'ailleurs que, nonobstant la crise industrielle qui a réduit en 1884 les transports par voies de fer, les voies navigables du Nord ont continué leur mouvement de progression [1].

L'augmentation du tonnage moyen a en effet atteint 125.000 tonnes sur le canal de la Sensée et 75.000 tonnes sur le canal de Bourbourg. Ce phénomène doit être attribué à la mobilité des frets qui, toutes choses égales d'ailleurs, s'abaissent notablement lorsque les transports généraux sont peu

1. Voir dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1877, 1er semestre, une très intéressante *Note* de M. Pontzen sur le transport de la houille par chemin de fer et par canal aux Etats-Unis.

abondants, lorsque l'industrie est peu prospère et a besoin d'obtenir à plus bas prix les matières qu'elle emploie.

Répartition des transports en remonte et en descente. — Les différentes voies navigables qui constituent la ligne d'Etrun à Dunkerque sont dans des conditions fort différentes, au point de vue de la répartition du trafic en remonte et en descente, comme le prouvent les chiffres suivants (1884) :

		CANAL de la Sensée.	CANAL de Bourbourg.
		tonnes.	tonnes.
Tonnage moyen ramené au parcours total.	en remonte.....	1.188,000	422.000
	en descente.....	380.000	415.000
	total.....	1.568,000	837.000
Nombre de bateaux chargés.....	en remonte.....	5.728[b]	3.958[b]
	en descente.....	2.242	5.788
	total.....	7.970	9.746
Nombre de bateaux vides.....	en remonte.....	163[b]	2.892[b]
	en descente.....	3.400	2.329
	total.....	3.563	5.241

Sur le canal de la Sensée, qui se trouve entre le bassin houiller et Paris, le mouvement s'effectue surtout en remonte; le tonnage à la descente est inférieur au quart du trafic total.

Sur le canal de Bourbourg, qui dessert surtout les relations du port de Dunkerque avec l'intérieur de la France, le mouvement est à peu près le même dans les deux sens.

Ces différences ont une grande influence, comme on le verra plus loin, sur les prix des transports par eau.

Bien que le tonnage moyen soit beaucoup plus considérable sur le canal de la Sensée que sur le canal de Bourbourg, le nombre des bateaux chargés qui ont circulé en 1884 sur le premier est notablement moindre que sur le second. Cela tient à ce que le canal de la Sensée est surtout une voie de

transit ; tandis que le canal de Bourbourg dessert en outre une navigation locale importante, qui s'effectue à l'aide de bateaux de faible tonnage pouvant pénétrer dans les nombreux canaux secondaires du pays Wateringué, entre Saint-Omer et la mer.

Décomposition du tonnage en nature de marchandises. — Si l'on décompose par nature de marchandises le tonnage des deux canaux considérés, qui sont situés aux extrémités de la ligne d'Etrun à Dunkerque, on constate de non moins grandes différences. Le tableau ci-après résume les principaux éléments du trafic en 1884 :

	CANAL de la Sensée.	CANAL de Bourbourg.
	tonnes.	tonnes.
Tonnage effectif total	1.681.255	989.984
Charbons français	1.128.951	234.617
— belges	3.481	7.132
— anglais	2.292	3.888
Matériaux de construction ; minéraux	184.323	213.115
Bois à brûler et bois de service	65.651	36.878
Produits agricoles et denrées alimentaires	200.379	319.873
Autres marchandises	96.178	174.481

Sur le canal de la Sensée, les combustibles minéraux forment le principal élément du trafic. Ils y entrent pour 67 0/0. Viennent ensuite les produits agricoles pour 12 0/0 et les matériaux de construction pour 11 0/0.

Sur le canal de Bourbourg, ce sont au contraire les produits agricoles qui tiennent la tête avec 32 0/0 ; les charbons n'entrent dans le total que pour 27 0/0 et les matériaux de construction pour 22 0/0. Ce canal transporte notamment des grains, qui arrivent par mer à Dunkerque et sont expédiés vers l'intérieur de la France.

Variations des prix du fret. — Dans sa notice sur les voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais, publiée en 1879, M. l'inspecteur général Bertin faisait remarquer qu'il y a, pour une même destination, autant de prix de fret que d'espèces de marchandises ; que pour une marchandise donnée, les prix varient avec les saisons, avec la quotité du chargement, avec les chances de retour à charge et en raison d'une foule d'autres circonstances.

Il importe d'ajouter qu'ils obéissent surtout à la loi de l'offre et de la demande.

Sans aborder une étude générale sur les prix des transports par eau, il est possible, en se bornant à la houille qui forme le principal élément du trafic fluvial dans le Nord de la France, de donner sur cette question quelques indications intéressantes dont les chemins de fer eux-mêmes pourraient faire leur profit.

Le tableau ci-après fait connaître le cours du fret de la houille au départ de Pont-à-Vendin (port des mines de Lens) pour diverses destinations, en novembre 1884 :

DESTINATION.	DISTANCE en kilomètres.	PRIX DU FRET PAR TONNE	
		pour le parcours total.	par kilomètre.
		fr.	fr.
Paris (la Villette)....	340 kil.	5 25	0,015
Saint-Quentin	118	1 90	0,016
Cambrai	66	1 30	0,020
Dunkerque.....	110	1 10	0,010

Ce tableau montre que, dans une même direction, Cambrai, Saint-Quentin, Paris, le prix de la tonne kilométrique est d'autant plus élevé que la distance est moins considérable. C'est que le batelier perd à chaque voyage un certain temps pour déchargement et recherche d'un fret et que ces faux frais, les mêmes dans tous les cas, aggravent les dépenses

dans une proportion d'autant plus sensible que le voyage est plus court.

Le fret de la houille expédiée sur Dunkerque est exceptionnellement bas, quoique la distance ne soit pas très grande, parce que les péniches qui se rendent dans ce port vont y chercher des marchandises de plus grande valeur, amenées par mer, qu'elles transportent avec un fret élevé vers l'intérieur. Plutôt que d'y arriver à vide, les mariniers acceptent à très bas prix un chargement de houille. Les charbonnages français peuvent ainsi, dans une certaine mesure, aller sur le littoral faire concurrence aux charbons anglais et il faut espérer qu'ils pourront dans l'avenir donner du fret de sortie aux navires, ce qui contribuerait grandement à l'extension du trafic du port de Dunkerque.

Le chemin de fer du Nord, qui doit ramener à vide à Dunkerque une grande partie de son matériel, trouverait peut-être avantage à imiter la batellerie, à réduire très notablement ses tarifs pour les marchandises en destination de ce port.

De même l'établissement de tarifs d'été réduits, au moins pour les transports de houille, paraît justifié par les variations que subit le fret suivant les saisons.

Ainsi, si l'on prend une année normale comme 1882, on constate que le fret du charbon, entre Pont-à-Vendin et la Villette, qui en mars ne dépassait pas 5 fr. 50 à 5 fr. 75, s'est élevé en octobre à 7 fr. 85 par tonne. La batellerie, qui avait dû abaisser ses prix pendant la belle saison, s'est empressée de les relever au moment où l'approche de l'hiver rendait les transports fort abondants et le matériel insuffisant.

La prospérité et l'activité de l'industrie exercent également une grande influence sur les prix du fret.

En novembre 1879, on payait 6 fr. 75 pour le transport d'une tonne de charbon de Pont-à-Vendin à Paris, bien que le marinier eût à acquitter des droits de navigation atteignant environ 0 fr. 80 par tonne.

Ces droits ont été supprimés par la loi du 19 février 1880 et cependant, en novembre 1880, le fret atteignait 7 fr. 50, ce qui correspondait à un écart réel de 1 fr. 55. Les mariniers avaient donc seuls profité de la suppression des droits, parce

qu'elle avait coïncidé avec une époque de grande prospérité.

Ce prix élevé s'est maintenu en 1881, en 1882 et même en 1883.

En novembre 1884, au contraire, le fret est retombé à 5 fr. 25, prix correspondant à une réduction de près de 2 fr. 25.

La batellerie avait dû consentir cette énorme réduction en raison de la crise industrielle, et c'est ce qui explique qu'elle ait pu conserver et même accroître sa clientèle, alors que la masse générale des transports avait diminué et que les chemins de fer voyaient leurs recettes subir une baisse considérable.

On voit donc que le prix des transports par eau est à la fois peu élevé et très mobile, et qu'il se plie à toutes les exigences de la situation économique. C'est pour ce motif que, dans la région du Nord, les canaux peuvent lutter avec les chemins de fer, surtout pour les transports de combustibles.

C'est grâce à eux que la Compagnie du Nord a dû abaisser certains de ses tarifs à moins de 0 fr. 03 par tonne et par kilomètre et que le bassin houiller a pu, en moins de 40 ans, décupler sa production. Pour soutenir la concurrence aux époques de crise, le chemin de fer sera obligé de consentir de nouvelles réductions de taxes.

III. — *Note sur la marche des bateaux en convoi dans les canaux de navigation.*

Ancienne interdiction de la marche en convoi. — M. Comoy a publié, dans les *Annales* (1851, 2e semestre, page 261), un mémoire fort intéressant *sur la marche des bateaux en convoi dans les canaux de navigation.*

Il a pris comme exemple le canal du Centre qui réunit la Saône à la Loire et qui, avec un développement total de 117 kilomètres, comporte 80 écluses, de sorte que la longueur moyenne d'un bief est inférieure à 1.500 mètres.

Après avoir posé en principe que, sur les canaux, les bateaux d'un convoi sont nécessairement indépendants les uns des autres, que chacun d'eux doit avoir son moteur, que ce mode de navigation ne peut en général présenter que le seul avantage de placer plusieurs bateaux sous la surveillance d'un même patron, M. Comoy a examiné en détail les conditions dans lesquelles s'effectuent la marche d'un convoi et celle des bateaux isolés qui le suivent ou le précèdent, l'influence des convois sur la vitesse individuelle des bateaux et sur le fret, sur la capacité de fréquentation des canaux, etc., et il est arrivé à cette conclusion que toute réunion de bateaux en convoi doit être interdite sur les canaux.

On lira avec intérêt les extraits qui suivent du mémoire de M. Comoy :

« *Considérations générales sur la marche des bateaux par convoi :* Plusieurs bateaux réunis pour naviguer ensemble sans jamais se séparer, sinon d'une quantité insignifiante, forment ce qu'on appelle un convoi.

« Suivant la nature des voies navigables, les convois ont une organisation et des effets très différents.

« Sur les rivières, les bateaux dont ils se composent sont attachés les uns aux autres, et un moteur unique d'une force suffisante leur est appliqué.

« Sur les canaux, au contraire, ces bateaux sont tout à fait indépendants les uns des autres; chacun d'eux doit avoir son moteur propre.

« Ces dispositions sont motivées par la nature même des différentes voies navigables.

« Quand le convoi navigue dans une rivière dont le lit est ordinairement assez large pour que plusieurs bateaux puissent facilement passer à côté les uns des autres, quels que soient leurs écarts, la liaison établie entre les bateaux du convoi ne présente aucun inconvénient.

« Quand, au contraire, comme sur les canaux, le convoi se meut dans un lit qui n'a généralement qu'une largeur double de celle des bateaux, cette liaison serait très nuisible à la navigation. Ces bateaux du convoi ne seraient pas alors convenablement dirigés; dans les parties courbes, les derniers

d'entre eux endommageraient les berges du canal, et leur frottement contre ces berges rendrait la traction plus difficile. En outre, il deviendrait impossible au moyen d'un moteur unique de leur faire occuper, lors de la rencontre des bateaux naviguant en sens contraire, l'emplacement restreint qui leur est rigoureusement assigné ; et la navigation se trouverait ainsi à chaque instant entravée.

« Les convois quinaviguent sur les rivières se trouvent donc, sous le rapport de la traction, dans de meilleures conditions que ceux des canaux. La liaison qui existe entre les bateaux des convois de rivières permet de réaliser les avantages que procure toujours la concentration des forces que l'on doit appliquer à plusieurs effets. Elle diminue les frais généraux et facilite l'emploi des moteurs perfectionnés.

« Cette considération établit une telle différence entre les convois des rivières et ceux des canaux, que ces deux espèces de convois peuvent bien être considérées comme n'ayant de commun que le nom.

« Je ne m'occuperai point dans ce mémoire des convois qui naviguent sur les rivières ; si j'en ai parlé, ce n'est que pour montrer d'une manière plus saillante que la réunion des bateaux en convois sur les canaux ne procure aucun avantage sous le rapport de la traction proprement dite.

« Ce mode de navigation sur les canaux ne peut donc en général avoir pour résultat que de placer tous les bateaux sous la surveillance d'un seul patron. Je n'y vois aucun autre avantage.

« Mais, d'autre part, le passage aux écluses introduit de si grandes distances entre les bateaux que l'avantage ci-dessus signalé serait absolument détruit si chaque bateau du convoi continuait sa marche après avoir franchi une écluse. Pour conserver cet avantage, il faut donc que les bateaux restent en station, après avoir traversé chaque écluse, jusqu'à ce que tous les bateaux du convoi l'aient franchie. Alors seulement le convoi se met en marche pour parcourir l'intervalle qui sépare deux écluses consécutives.

« On peut pressentir dès ce moment que l'obligation de reformer ainsi le convoi après le passage à chaque écluse doit

introduire des conditions fâcheuses dans la navigation des canaux; et l'on verra dans la suite de ce mémoire qu'il en résulte une assez grande augmentation dans les frais de transport, non seulement des bateaux qui composent les convois, mais encore d'un certain nombre des bateaux isolés qui les suivent.

« En présence de ces résultats, on se demande comment la navigation par convoi a pu s'introduire sur les canaux, comment l'intérêt privé, si clairvoyant d'ordinaire, n'a pas reconnu dès l'origine les inconvénients que nous venons de signaler.

« A cela il y a plusieurs causes. On ne change jamais brusquement les habitudes prises. Dans la direction ou à proximité de la plupart des canaux ouverts, on naviguait auparavant sur des rivières où la réunion des bateaux en convoi présentait d'incontestables avantages. Cela était devenu le mode habituel de navigation. Quand les canaux ont été livrés à la circulation, on a continué d'agir comme on le faisait sur les rivières, autant que l'a comporté le régime des canaux. On n'avait pas d'ailleurs de ce régime une connaissance suffisante, et l'on ne pouvait se rendre alors un compte exact des avantages et des charges de tel ou tel système de navigation. En outre, dans les débuts des canaux, il y avait des imperfections et un défaut de pratique qui rendait la marche isolée des bateaux plus coûteuse que je ne l'ai supposé dans les calculs de ce mémoire. L'augmentation de dépense qu'occasionne la marche en convoi en devenait moins sensible.

« Mais à mesure que l'on a acquis de l'expérience dans l'usage des canaux, et que la marche des bateaux y est devenue plus facile, on a reconnu les inconvénients attachés aux convois. Ce mode de navigation a été peu à peu abandonné ou modifié dans ses détails et sa destination, et il est beaucoup moins employé maintenant qu'il ne l'était il y a plusieurs années. Cependant, il l'est encore, et les questions qui s'y rattachent sont toujours dignes d'intérêt.

« D'ailleurs, les règlements de police des canaux ne peuvent rester muets sur ce mode de navigation. Il faut, par conséquent, que l'on sache à quoi s'en tenir sur sa valeur et ses consé-

quences; il faut que l'on sache si l'économie qu'il peut produire, dans une partie des frais de transport, est à mettre en comparaison avec les charges qui en résultent; et s'il est possible, par quelques mesures règlementaires, de faire disparaître les inconvénients généraux que présentent les convois, en conservant les avantages particuliers qu'ils procurent.

« *Résumé.* — La réunion des bateaux en convoi, sur les canaux de navigation, ne facilite en rien la traction des bateaux. Elle ne peut avoir pour avantage que de placer tous les bateaux du convoi sous la surveillance d'un seul patron.

« Mais, d'autre part, les bateaux marchant en convoi emploient plus de temps à parcourir un canal que s'ils naviguaient isolément.

« Si les convois apportent quelque diminution dans les frais de surveillance, ils produisent donc en même temps une augmentation dans les frais de traction; et les chiffres cités dans le courant de ce mémoire établissent que, même sous le rapport des dépenses générales de transport propres aux convois, ce mode de navigation doit rarement présenter de l'avantage.

« Mais les convois introduisent, en outre, dans la navigation des canaux plusieurs inconvénients très graves.

« Ils sont très nuisibles aux bateaux isolés qui les suivent, quand ces derniers n'ont pas le privilège de passer aux écluses avant les bateaux des convois, en augmentant la durée de la navigation de ces bateaux isolés.

« Ils sont contraires aux intérêts généraux de la navigation en augmentant le fret, ce qui résulte, et de la lenteur qu'ils introduisent dans la navigation, et de la nécessité d'employer un plus grand nombre de bateaux pour satisfaire à un mouvement commercial donné.

« Ils sont encore contraires aux intérêts généraux en diminuant la capacité de fréquentation des canaux; les écluses qui sont en avant du convoi restant inoccupées, pendant un temps souvent très long, pour les bateaux qui vont dans le sens du convoi.

« Ils sont nuisibles à l'alimentation des canaux en occasionnant, pour le passage aux écluses, une dépense d'eau plus forte que si les bateaux naviguaient isolément.

« Si, pour faire disparaître une partie des inconvénients qui viennent d'être signalés, on accorde aux bateaux isolés la faculté de passer aux écluses avant les bateaux du convoi, on rend la marche de ces derniers si lente que cela équivaut à une prohibition de ce mode de navigation.

« En présence de ces résultats et dans l'impossibilité de trouver des mesures réglementaires qui laissent à la navigation par convoi les minimes avantages que l'on peut en retirer, sans grever la navigation générale de charges très fortes et contraires aux intérêts généraux, je pense que la suppression de ce mode de navigation doit être adoptée en principe; et qu'il convient d'insérer, dans les règlements sur la navigation des canaux, un article conçu en ces termes :

« *Les bateaux doivent naviguer isolément. Leur réunion en convoi est interdite.* »

Cette conclusion a été adoptée par l'Administration supérieure, comme le prouve l'article 8, titre I^er^, du règlement général pour la police de la navigation sur les canaux, annexé à la circulaire ministérielle du 21 juin 1855. Cet article est ainsi conçu :

« *Marche simultanée des bateaux.* — Les bateaux ne pourront marcher en convois; ils ne seront ni accouplés, ni remorqués.

« On pourra néanmoins en attacher deux à la suite l'un de l'autre, quand il sera possible de le faire sans augmenter le nombre des chevaux habituellement employés à la traction d'un seul bateau. »

Cette interdiction était beaucoup trop absolue. Malgré les termes formels du règlement, on voit depuis longtemps circuler sur les canaux de nombreux convois; la tendance générale est d'adopter ce mode de navigation. L'Administration a favorisé cette tendance en autorisant par des décisions spéciales, et même en exploitant elle-même, des services de remorquage, de touage à vapeur ou de halage par locomotives.

On n'a pas tardé à reconnaître en effet que, contrairement aux idées de M. Comoy, les bateaux réunis en convoi peuvent, sur les canaux comme sur les rivières, être reliés entr'eux. Il est possible, par suite, de les faire profiter d'une diminution

dans la force totale de traction et d'employer des moteurs perfectionnés : remorqueurs, toueurs ou locomotives de halage.

C'est grâce à cet emploi que l'on a pu réduire notablement les frais de traction et améliorer la navigation dans certains passages difficiles, comme la traversée de Douai, celle des souterrains et celle du bief de partage du canal de Saint-Quentin.

Circulation d'un convoi en plein bief. — L'expérience a démontré que, en plein bief, la circulation des convois de bateaux reliés entr'eux n'a pas les inconvénients que l'on craignait; que, dans les canaux à double voie, les bateaux d'un convoi peuvent être dirigés convenablement, pourvu que la vitesse ne soit pas trop grande ; qu'ils n'endommagent pas sérieusement les berges et que le frottement contre les talus dans les parties courbes, s'il ne peut être complètement évité, ne rend pas la traction trop difficile.

Il est vrai que, lorsqu'un convoi est un peu long, il produit un remous quelquefois assez considérable et des courants violents, que les bateaux qui le croisent ne peuvent plus être gouvernés et doivent s'arrêter pendant quelques instants. Mais cet inconvénient n'est pas bien grave, car, même sur une voie navigable très fréquentée, les convois que rencontre un bateau sont trop peu nombreux pour qu'il en résulte des retards sérieux.

Les particuliers qui exploitent des services de traction à vapeur ont une tendance à allonger les convois au maximum possible, eu égard à la puissance du moteur ; mais c'est au détriment de la vitesse. Souvent ces convois marchent plus lentement que les bateaux halés par des chevaux, et ceux-ci ne peuvent que très difficilement les dépasser.

C'est là un abus auquel il est facile de remédier en limitant le nombre et le chargement des bateaux constituant un convoi, ou mieux en leur imposant une vitesse au moins égale à celle des bateaux halés par des chevaux. De la sorte un bateau isolé n'a que très rarement à dépasser un convoi.

Sur les canaux du nord de la France, il existe un grand nombre de ponts mobiles, et le passage de longs convois pour-

rait occasionner une grande gêne à la circulation des voitures. Mais on peut concilier tous les intérêts en limitant la durée de l'ouverture des ponts, et une prescription de ce genre n'est pas de nature à empêcher la formation de longs convois. Il suffit en effet de les couper après le passage de trois ou quatre bateaux, et de fermer le pont pendant quelques instants pour laisser passer les voitures et les piétons ; le convoi se reforme ensuite et se remet en marche après un court arrêt.

On voit donc que, moyennant quelques prescriptions déjà en usage sur le canal de la Deûle, où fonctionnent l'un à côté de l'autre des services de touage à vapeur et de halage par locomotives, on peut éviter ou restreindre dans des conditions satisfaisantes les inconvénients que présente en plein bief la marche des bateaux en convoi, dans les canaux de navigation.

Il serait à désirer que les voies navigables très fréquentées et parcourues par des convois fussent élargies, de manière à présenter en plafond une largeur de 17 mètres correspondant à trois bateaux chargés. La traction serait bien plus facile ; les remous produits par le passage d'un convoi seraient considérablement réduits, les croisements et le trématage s'opéreraient bien plus commodément.

Passage des convois aux écluses. — Il est incontestable que, si les bateaux réunis en convoi sont obligés de s'attendre après le passage des écluses pour repartir ensemble, ils perdent d'autant plus de temps qu'ils sont plus nombreux.

M. Comoy a démontré que, *sur le canal du Centre*, le retard que subit de ce chef un convoi de cinq bateaux, animé en pleine marche d'une vitesse de 1 kilomètre à l'heure, est à très peu près égal au temps qu'emploie un bateau isolé pour franchir tout le canal. La durée du trajet est donc doublée par suite de la réunion en convoi.

Il est clair que les retards seraient relativement bien plus grands encore si l'on supposait une vitesse de 1.500 mètres comme celle que l'on peut obtenir avec des moteurs à vapeur, et si l'on augmentait le nombre des bateaux formant un convoi.

Dans ces conditions, le moteur serait au repos pendant la plus grande partie du temps et, ainsi que le disait M. Comoy,

la réunion des bateaux en convoi augmenterait les dépenses de transport afférentes à ces bateaux mêmes, tout en imposant aux bateaux isolés des retards inadmissibles.

Mais tous les canaux ne sont pas, comme le canal du Centre, encombrés d'écluses multipliées séparant des biefs très courts. Il existe par exemple sur les voies navigables du Nord, entre Douai et les Fontinettes, deux biefs qui ont ensemble 77 kilomètres de longueur[1].

Si l'on considère un convoi de cinq bateaux parcourant ces deux biefs, on peut admettre qu'il fait normalement le trajet en 5 jours de 12 heures, soit 60 heures. Cela ne correspond qu'à une vitesse de 1.300 mètres à l'heure ; mais on ne peut guère la dépasser en moyenne, à cause des arrêts occasionnés par les croisements et les encombrements de bateaux très fréquents sur ce parcours.

Le passage du convoi à la seule écluse rencontrée (2 mètres de chute) exige au plus une heure et demie, et par suite la perte de temps pour un bateau isolé est inférieure à ce chiffre. Le retard dû à la réunion en convoi n'est donc pas du quarantième de la durée totale du trajet. C'est insignifiant, et les transports peuvent bénéficier de toute l'économie que permet de réaliser l'emploi de moteurs perfectionnés.

Si donc la marche en convois n'a que des inconvénients et peut être proscrite sur le canal du Centre, elle présente au contraire des avantages très sérieux entre Douai et les Fontinettes et l'on ne peut par conséquent, sans nuire aux intérêts de la navigation, l'interdire comme le voulait le règlement de 1855.

Entre les deux cas extrêmes que l'on vient de comparer, on rencontre sur les canaux de navigation des conditions intermédiaires. Mais c'est en vain que l'on chercherait, en employant une méthode analogue à celle de M. Comoy, à déterminer pour chaque ligne s'il convient d'y laisser s'introduire la marche en convois.

1. Ces deux biefs comprennent une partie du canal de la haute Deûle, du Fort-de-Scarpe à Bauvin, le canal d'Aire tout entier et le canal de Neuffossé, entre Aire et les Fontinettes. Ils desservent un trafic très important : le tonnage moyen rapporté au parcours total a notablement dépassé, sur ces trois canaux, un million de tonnes en 1884.

En réunissant plusieurs bateaux, on a en vue aujourd'hui, non pas de les placer sous la surveillance d'un même patron, mais bien d'améliorer la traction et de la rendre plus économique. Rien n'oblige à composer une fois pour toutes un convoi, et à y attacher un moteur qui le conduirait d'un bout à l'autre de la ligne à parcourir. Ce mode de procéder serait mauvais, car il immobiliserait le moteur pendant une grande partie du temps employé au passage des écluses; il ferait subir de longs retards aux bateaux et il ne pourrait être appliqué au touage, attendu que sur les canaux, les toueurs ne peuvent franchir les écluses. Il en serait tout autrement si celles-ci pouvaient contenir un train avec son remorqueur; mais il ne faut pas songer à réaliser une pareille amélioration, que l'on poursuit seulement sur quelques rivières.

Les convois qui circulent sur les canaux peuvent être coupés ; les bateaux qui les composent peuvent se séparer soit pour naviguer isolément, soit pour être réunis à d'autres, suivant les circonstances.

Dans ces conditions, il est facile de réduire dans de très grandes proportions les retards que la marche en convoi est susceptible de faire subir aux bateaux isolés et aux convois eux-mêmes, et l'on ne peut plus calculer ces retards, comme le faisait M. Comoy.

Exploitation rationnelle des canaux par l'emploi de moteurs perfectionnés. — Les considérations qui précèdent démontrent qu'il serait possible de pourvoir pour ainsi dire chaque bief de moyens de traction différents, suivant sa longueur et les obstacles que l'on y rencontre. Dans les biefs présentant un grand développement, il est avantageux d'employer des moteurs puissants et surtout des toueurs permettant la formation de grands convois. Dans les biefs moyens, les temps perdus pour l'organisation du convoi au départ, pour les manœuvres à faire à l'écluse terminale, seraient relativement trop considérables et il est plus logique de constituer de petits convois mis en mouvement par un moteur d'une puissance réduite, remorqueur ou locomotive de halage. Dans les biefs très courts, il est plus économique, à moins de cir-

constances spéciales, de faire marcher les bateaux isolément à l'aide de moteurs vivants.

Le passage des écluses et les manœuvres aux abords doivent toujours s'effectuer soit au moyen de chevaux, soit à l'aide de machines peu puissantes.

De la sorte, les bateaux composant un convoi ne sont plus obligés de s'attendre après avoir franchi une écluse pour repartir ensemble. Si le bief dans lequel ils entrent est court, ils partent isolément. S'ils doivent encore naviguer en convoi, les premiers bateaux du train se réunissent aux derniers bateaux du train précédent et les pertes de temps sont très réduites.

Ce serait la seule manière rationnelle et méthodique d'exploiter les canaux très fréquentés ; mais elle exigerait une organisation bien étudiée et on ne pourrait la réaliser complètement que si l'État effectuait lui-même la traction, ou s'il la monopolisait entre les mains d'une Compagnie.

Néanmoins on peut citer un exemple d'une organisation de ce genre, qui s'est établie par la force même des choses, et qui a donné d'excellents résultats.

Sur le canal de la Deûle, dans le bief de Don, qui a 30 kilomètres de longueur, les bateaux à la remonte, c'est-à-dire allant dans la direction de Paris, naviguent fréquemment en convois[1] comprenant jusqu'à six bélandres. Mais ces convois ne dépassent pas le pont tournant de Dorignies, sur lequel le chemin de fer du Nord franchit le canal. En ce point, les bateaux se séparent et ils continuent leur route isolément, halés par des chevaux; ils franchissent ainsi le pont de Dorignies, l'écluse du Fort, située à 2 kilomètres en amont, à la jonction avec la Scarpe, puis le pont tournant du Mariage qui dessert également la ligne ferrée de Paris à Lille.

En amont de ce pont, ils se reforment en convois remorqués par des toueurs et traversent ainsi la ville de Douai, où la traction est extrêmement pénible. Après un parcours de 2 kilomètres, ils franchissent l'écluse des Augustins à l'aide de

1. Deux entreprises particulières ne jouissant d'aucun privilège, le touage à vapeur et le halage par locomotives, fonctionnent concurremment avec le halage par chevaux.

chevaux, puis ils sont repris, mais en convois de 2 à 4 bateaux au plus, par un toueur qui les amène jusqu'en aval de l'écluse de Lambres. A partir de là, les difficultés deviennent beaucoup moins grandes et les biefs sont courts ; les bateaux cessent alors définitivement d'être réunis et ils naviguent isolément.

Cette organisation rend de très grands services. Elle a permis de faire disparaître les encombrements permanents qui existaient il y a quelques années aux abords de Douai, et qui faisaient subir aux bateaux des retards allant jusqu'à trois semaines. Elle a augmenté dans d'énormes proportions la capacité de fréquentation de la Scarpe moyenne, que l'on croyait atteinte. Le trafic de cette voie navigable, exceptionnellement défectueuse, a pu, dans les trois dernières années, s'accroître de 350.000 tonnes environ, et atteindre près de 1.700.000 tonnes ; malgré cela, la navigation s'effectue plus rapidement et plus régulièrement que par le passé.

La situation pourrait encore être améliorée si tous les services de traction étaient entre les mains de l'État, ou s'ils étaient convenablement réglementés. Mais cet exemple suffit pour démontrer que la marche en convoi peut donner de très bons résultats sur les canaux ; que, dans certains cas, ce mode de navigation est même indispensable pour assurer la régularité et la rapidité des transports par eau.

Réglementation à adopter pour la marche en convois. — C'est donc avec raison que, dans le nouveau règlement de police qui est à l'étude et qui doit remplacer le règlement de 1855, l'Administration supérieure admet que les bateaux pourront marcher en convois dans les régions du Nord et de l'Est et sur toutes les lignes. Elle s'est seulement réservé le droit (article 8) de déterminer, pour chaque ligne ou section de ligne, le nombre des bateaux qui pourront être attachés à la suite l'un de l'autre, et, tout en spécifiant que les bateaux franchiront les écluses suivant l'ordre de leur arrivée, elle a prévu (article 18) que des décisions spéciales pourraient imposer aux convois des conditions particulières, ayant pour objet d'éviter les inconvénients que M. Comoy signalait en 1851.

Sur le premier point, il est facile de réglementer les convois de manière à concilier tous les intérêts. Il suffit, comme on l'a exposé plus haut, de limiter le nombre et le chargement des bateaux attachés à la suite l'un de l'autre, de fixer une vitesse minima obligeant les entrepreneurs de traction à proportionner les convois à la puissance des moteurs; de limiter la durée maxima de l'ouverture des ponts mobiles.

Sur le second point, on peut attendre que l'expérience ait prononcé.

Les conditions particulières à imposer aux convois pour le passage des écluses ont pour objet d'empêcher que la marche des bateaux isolés ne soit trop retardée. Or, il est évident que les convois de grande longueur ne peuvent économiquement naviguer que dans les biefs d'un grand développement; que, dans les biefs moyens, ils doivent nécessairement être réduits ; que d'ailleurs l'on aura toujours intérêt à les couper au passage des écluses ; enfin que la marche en convois ne peut pratiquement et économiquement s'établir sur les portions de lignes qui présentent des écluses multipliées. Par conséquent, par la force même des choses, ce mode de navigation ne peut avoir les inconvénients graves que l'on redoute.

Si néanmoins il se produisait des abus, l'Administration aurait toujours la faculté de les réprimer par des décisions spéciales. Mais il est impossible, dans un règlement général, de prévoir tous les cas qui peuvent se présenter et il serait contraire aux intérêts de la navigation de mettre des restrictions à la marche en convois avant d'être absolument certain que ces restrictions sont bien réellement nécessaires.

Comparaison des prix de traction des bateaux. — Il serait intéressant de comparer les prix de traction des bateaux marchant isolément à l'aide de chevaux et des bateaux réunis en convois remorqués par des moteurs perfectionnés, toueurs, remorqueurs à vapeur, locomotives de halage.

Il est malheureusement fort difficile de faire cette comparaison d'une manière générale, parce que les différents modes de traction ne fonctionnent pas dans les mêmes conditions ;

parce que, là où le halage par chevaux s'exerce seul et librement, les prix varient dans des proportions énormes, suivant la loi de l'offre et de la demande ; parce que, là où les chevaux et la traction à vapeur se font concurrence, la lutte oblige souvent les charretiers et les entrepreneurs à accepter des prix qui ne sont pas rémunérateurs ; parce que les premiers, qui n'ont pas de frais généraux, sont en mesure de faire de grands sacrifices pour ruiner les entreprises de traction à vapeur.

Sur le canal de la Sensée, qui a un développement de 25 kilomètres, qui ne comporte que trois écluses et qui se trouve dans de bonnes conditions de navigabilité, le halage par chevaux fonctionne seul; il est monopolisé entre les mains d'un entrepreneur, en vertu d'un décret du 19 juin 1875, et il a fait l'objet d'une adjudication qui fait profiter la batellerie d'un rabais de 31 0/0 sur les prix du tarif.

Le halage à la remonte et à la descente s'effectue sur ce canal à raison de 0 fr. 0052 par tonne kilométrique.

Sur le canal de la Deûle, dans le bief de Don, les services de touage à vapeur et de halage par locomotives, qui fonctionnent concurremment avec le halage libre par chevaux, n'effectuent la traction qu'à la remonte et se trouvent par suite dans de moins bonnes conditions que sur le canal de la Sensée; cependant, les prix s'abaissent jusqu'à 0 fr. 004 et même au-dessous par tonne et par kilomètre.

Il est vrai que ces entreprises sont peu prospères, parce que, par suite de la concurrence, leur matériel n'est pas utilisé d'une manière continue. Mais si l'une d'elles était seule, si la traction était mise en adjudication, il est certain qu'un prix moyen de 0 fr. 0045, inférieur de 23 0/0 à celui du halage sur le canal de la Sensée, serait raisonnablement rémunérateur.

Dans le bief de partage du canal de Saint-Quentin, il existe un service de touage à vapeur exploité en régie pour le compte de l'État.

Ce bief, qui a 20 kilomètres de longueur et qui comporte deux souterrains, est à voie unique sur la moitié de son parcours, avec gare de croisement vers le milieu.

Malgré ces conditions défectueuses, les frais de traction sont taxés à 0,0025 par tonne et par kilomètre ; les bateaux vides sont remorqués gratis et cependant l'État réalise des bénéfices sérieux.

De plus, grâce à cette organisation, on peut faire passer par jour jusqu'à 35 et même 40 bateaux dans chaque sens et le trajet s'effectue en douze heures, c'est-à-dire à raison de près de 1.700 mètres à l'heure.

Conclusion. — L'exemple du canal de Saint-Quentin est très instructif. Si, sur les voies navigables très fréquentées, comme la ligne de Paris aux houillères du Nord et du Pas-de-Calais, l'Etat se chargeait d'opérer lui-même la traction par convoi à l'aide de moteurs perfectionnés, dans les biefs d'une certaine longueur et dans ceux où l'on rencontre des difficultés spéciales ; s'il adjugeait le halage par chevaux dans les biefs courts et au passage des écluses, le prix moyen de la traction descendrait certainement à moins de 0,004 par tonne et par kilomètre. Il est aujourd'hui de 0.006 environ. Il en résulterait donc une économie de 33 0/0.

Une semblable organisation compléterait d'une façon très heureuse l'amélioration résultant des grands travaux qui s'exécutent en vertu de la loi du 5 août 1879. Elle contribuerait dans une très large mesure à accroître la capacité de la ligne et à assurer la rapidité, la régularité et le bon marché des transports par eau. La différence des prix de traction est loin de constituer toute l'amélioration qui en serait la conséquence. Mais osera-t-on développer les rudiments de monopole de traction qui existent déjà ? Comprendra-t-on que l'intervention de l'État serait ici la sauvegarde de tous les intérêts, la condition essentielle du développement de la concurrence entre les entreprises de batelage, entre la navigation et les chemins de fer ?

ANGERS, IMPRIMERIE BURDIN ET Cie, RUE GARNIER, 4.

SEP 28 1939